

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS PARA EL CAMPO CUYABENO-VHR

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PETRÓLEOS

WALTER JOEL HARO RUIZ
haro.walter@gmail.com

DIRECTOR: ING. EDUARDO PATRICIO JARAMILLO CARRERA, MSc.
patricio.jaramillo@gmail.com

Quito, Mayo 2013

DECLARACIÓN

Yo WALTER JOEL HARO RUIZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

WALTER JOEL HARO RUIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por WALTER JOEL HARO RUIZ, bajo mi supervisión.

Ing. PATRICIO JARAMILLO
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Madre Dolorosa por darme fuerzas para salir adelante durante toda esta etapa de mi vida.

A mis padres Joel y Beatriz por regalarme todos los instrumentos necesarios para estudiar pero principalmente por estar a mi lado y comprender mi estilo de vida.

A mis hermanos Patty y Esteban por ser mi ejemplo y demostrarme que somos capaces de concluir con éxito los proyectos trazados para nuestras vidas, los amo.

A Gaby por enseñarme que todos los problemas tienen solución y que mientras exista amor, hasta la muerte es llevadera.

A Vane y Valentina por haber llegado a nuestro hogar para hacernos una gran compañía y alegrarnos los días.

Al Ingeniero Patricio Jaramillo por su colaboración desinteresada durante toda la elaboración de este proyecto.

A Sebas, Boris, Gordo, Andrés, Felipe, Quaker, Pableins, Paco, Chispa, Chiki, Iván, Goches, Marco y todos los wiros y eufasianos que nunca me dejaron solo y siempre tuvieron un buen consejo o un buen chiste para apoyarme.

A l@s Magnific@s Joselo, Victor, Pepito, Flaco, Trejo, Cristian, Josue, Pablito, Sindy, Rachel, Gabys, Salo, Soe por ser los mejores camaradas y por que juntos descubrimos que el mejor título que podemos llegar a tener es el de ser señor.

A Luis Constante por su gran ayuda en la parte final de este proyecto.

WALTER HARO RUIZ

DEDICATORIA

A Dios y a la Madre Dolorosa por protegerme para poder alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres porque este logro es de conjunto y sin su ayuda no lo hubiera hecho realidad.

A mis hermanos por su inmenso cariño y apoyo.

A todas las personas que me apoyaron y confiaron en mí.

WALTER HARO RUIZ

CONTENIDO

| | |
|---|-------|
| DECLARACIÓN | II |
| CERTIFICACIÓN | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| DEDICATORIA..... | V |
| CONTENIDO..... | VI |
| LISTA DE TABLAS..... | XII |
| LISTA DE FIGURAS..... | XV |
| SIMBOLOGÍA..... | XVIII |
| RESUMEN | XIX |
| PRESENTACIÓN | XXI |
| CAPÍTULO I | |
| GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN..... | 1 |
| 1.1 Brocas..... | 1 |
| 1.1.1 Principios..... | 1 |
| 1.1.2 Clasificación | 1 |
| 1.1.2.1 Brocas tricónicas | 2 |
| 1.1.2.1.1 Componentes de la broca tricónica..... | 2 |
| 1.1.2.2 Brocas de compacto de diamante policristalino o PDC | 7 |
| 1.1.2.2.1 Componentes de la broca con cortadores PDC | 7 |
| 1.1.3 Aplicación..... | 11 |
| 1.1.3.1 Brocas tricónicas | 11 |
| 1.1.3.2 Brocas PDC..... | 12 |
| 1.1.4 Mecánica de corte..... | 12 |
| 1.1.4.1 Mecánica de corte de las brocas tricónicas | 12 |
| 1.1.4.2 Mecánica de corte de las brocas PDC..... | 13 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.1.5 | desgaste de las brocas | 13 |
| 1.1.5.1 | Ejemplo de la evaluación del desgaste de las brocas. | 14 |
| 1.1.5.1.1 | Estructura de corte | 14 |
| 1.1.5.1.2 | Cojinete | 15 |
| 1.1.5.1.3 | Calibre..... | 15 |
| 1.1.5.1.3 | Observaciones | 15 |
| 1.2 | Perforación direccional | 16 |
| 1.2.1 | Introducción..... | 16 |
| 1.2.2 | Definición | 16 |
| 1.2.3 | Perforación bajo balance..... | 16 |
| 1.2.4 | Clasificación de pozos direccionales..... | 17 |
| 1.2.4.1 | Pozo con perfil S..... | 17 |
| 1.2.4.2 | Pozo con perfil J | 17 |
| 1.2.4.3 | Pozo con perfil horizontal..... | 17 |
| 1.3 | Mecánica de Rocas | 18 |
| 1.3.1 | Mineralogía..... | 19 |
| 1.4 | Reología | 19 |
| 1.4.1 | Viscosidad | 20 |
| 1.4.2 | Esfuerzo de corte y velocidad de corte | 20 |
| 1.4.3 | Viscosidad plástica..... | 20 |
| 1.4.4 | Punto cedente | 21 |
| 1.4.5 | Viscosidad a baja velocidad de corte | 21 |
| 1.4.6 | Tixotropía y esfuerzos de gel | 21 |
| 1.5 | Hidráulica de perforación | 23 |
| 1.5.1 | hidráulica de la broca | 24 |
| 1.5.1.1 | Pérdida de presión en la broca | 24 |
| 1.5.1.2 | Potencia Hidráulica | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 1.5.1.3 Velocidad de la tobera | 25 |
| 1.5.1.4 Fuerza de impacto (IF)..... | 26 |
| 1.5.1.5 Porcentaje de pérdida de presión en la broca | 26 |
| 1.5.1.6 Potencia hidráulica del sistema | 26 |
| 1.5.2 Caídas de presión | 27 |
| 1.5.2.1 Caída de presión en el anular..... | 27 |
| 1.5.2.2 Caída de presión en la sarta de perforación..... | 29 |
| 1.5.2.3 Optimización de la hidráulica..... | 30 |
| CAPÍTULO II | |
| METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS | 32 |
| 2.1 Introducción | 32 |
| 2.2 Generalidades de los campos | 32 |
| 2.2.1 Descripción geológica del campo Cuyabeno..... | 33 |
| 2.2.1.1 Estratigrafía | 34 |
| 2.2.1.1.1 Basamento | 34 |
| 2.2.1.1.2 Formación Hollin | 34 |
| 2.2.1.1.3 Formación Napo..... | 34 |
| 2.2.1.1.4 Formación Tena | 34 |
| 2.2.1.1.5 Formación Tiyuyacu..... | 35 |
| 2.2.1.2 Estructura | 35 |
| 2.2.1.3 Descripción de los principales yacimientos..... | 37 |
| 2.2.1.3.1 Arenisca T inferior | 37 |
| 2.2.1.3.2 Arenisca T superior | 37 |
| 2.2.1.3.3 Arenisca U inferior..... | 37 |
| 2.2.1.3.4 Arenisca U media..... | 37 |
| 2.2.1.3.5 Arenisca U superior..... | 37 |
| 2.2.1.4 Características de la roca y del fluido | 39 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2 Descripción geológica del campo V.H.R. | 39 |
| 2.2.2.1 Estratigrafía | 40 |
| 2.2.2.1.1 Basamento Cristalino (Pre- Cámbrico)..... | 40 |
| 2.2.2.1.2 Formación Hollin | 40 |
| 2.2.2.1.3 Formación Napo..... | 40 |
| 2.2.2.1.4 Formación Tena | 40 |
| 2.2.2.1.5 Formación Tiyuyacu..... | 40 |
| 2.2.2.1.6 Formación Orteguaza..... | 41 |
| 2.2.2.2 Estructura | 41 |
| 2.2.2.3 Descripción de los principales yacimientos..... | 44 |
| 2.2.2.3.1 Arenisca T inferior | 44 |
| 2.2.2.3.2 Arenisca T superior | 44 |
| 2.2.2.3.3 Arenisca U inferior..... | 44 |
| 2.2.2.3.4 Arenisca U media | 44 |
| 2.2.2.3.5 Arenisca U superior..... | 44 |
| 2.2.2.3.6 Arenisca “M2” | 45 |
| 2.2.2.3.7 Arenisca Basal Tena | 45 |
| 2.2.2.4 Características de la roca y fluido..... | 45 |
| 2.3 Información de pozos perforados en el campo | 47 |
| 2.3.1 Bit record o Registro de brocas | 48 |
| 2.3.1.1 Información de la broca | 49 |
| 2.3.1.2 Torque | 50 |
| 2.3.1.3 Peso sobre la broca (WOB)..... | 50 |
| 2.3.1.4 Rata de penetración (ROP)..... | 50 |
| 2.3.1.5 Velocidad de la rotaria (RPM)..... | 50 |
| 2.3.1.6 Caudal | 51 |
| 2.6 Metodología para la selección de brocas..... | 53 |

| | |
|--|-----|
| 2.6.1 Costo por pie (C)..... | 53 |
| 2.6.2 Energía mecánica específica (E_s)..... | 54 |
| 2.6.2.1 Método de energía mecánica específica para la selección de brocas (E_s)..... | 54 |
| 2.7 Metodología de selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR..... | 58 |
| 2.7.1 Ejemplo de cálculo | 59 |
| 2.7.2 Metodología de selección para el campo Cuyabeno | 65 |
| 2.7.3 Metodología de selección para el campo VHR | 77 |
| CAPÍTULO III | |
| SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE | |
| PERFORACIÓN | 89 |
| 3.1 Planificación del perfil e hidráulica del pozo | 89 |
| 3.2 Esquema mecánico de los pozos campo Cuyabeno | 90 |
| 3.2.1 Programa de brocas campo Cuyabeno..... | 92 |
| 3.3 Ejemplo de cálculo y simulación hidráulica | 94 |
| 3.3.1 Procedimiento de la simulación hidráulica | 94 |
| 3.4 Especificaciones técnicas de las brocas seleccionadas campo Cuyabeno | 99 |
| 3.4.1. Sección de 26" | 99 |
| 3.4.1.1 T11 | 99 |
| 3.4.2 Sección de 16" | 100 |
| 3.4.2.1 RSR519M | 100 |
| 3.4.3 Sección de 12.25" | 102 |
| 3.4.3.1 DSX104DGJNSU..... | 102 |
| 3.4.3.2 RSX192HFGSW | 103 |
| 3.4.3.3 TD41AMPC..... | 104 |
| 3.4.3.4 DSR619M | 106 |
| 3.4.4 Sección de 8.5" | 107 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.4.1 DSR619M | 107 |
| 3.6 Esquema mecánico de los pozos campo VHR | 108 |
| 3.7 Programa de brocas campo VHR | 108 |
| 3.8 Especificaciones técnicas de las brocas seleccionadas campo VHR | 112 |
| 3.8.1 Sección de 12.25" | 112 |
| 3.8.1.1 HC605..... | 112 |
| 3.8.1.2 HCM605ZX | 113 |
| 3.8.2 Sección de 8.5" | 115 |
| 3.8.2.1 HC605S | 115 |
| 3.8.2.2 GX-09 | 116 |
| 3.8.2.3 HCM506Z | 117 |
| CAPÍTULO IV | |
| ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO | 119 |
| 4.1 Introducción | 119 |
| 4.2 Costos Campo Cuyabeno | 120 |
| 4.2.1 Tiempo de perforación pozo modelo | 121 |
| 4.2.2 Análisis de resultados | 126 |
| 4.3 Costos Campo VHR..... | 126 |
| 4.3.1 Tiempo de perforación pozo modelo | 127 |
| 4.3.2 Análisis de resultados | 132 |
| CAPÍTULO V | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 134 |
| 5.1 Conclusiones | 134 |
| 5.2 Recomendaciones | 136 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 138 |
| ANEXOS | 139 |

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN

| | |
|---|----|
| TABLA 1.1: CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS | 6 |
| TABLA 1.2: CÓDIGO IADC PARA BROCAS PDC..... | 11 |
| TABLA 1.3: CÓDIGO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC..... | 15 |
| TABLA 1.4: EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA BROCA HC605Z | 16 |
| TABLA 1.4: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MINERALES | 19 |

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

| | |
|--|----|
| TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO CUYABENO | 39 |
| TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO VHR | 45 |
| TABLA 2.3 ENCABEZADO BIT RECORD CUY 28D | 52 |
| TABLA 2.4 SECCIÓN PRINCIPAL BIT RECORD CUY 28D..... | 52 |
| TABLA 2.5 DATOS OBTENIDOS DEL REGISTRO DE BROCAS | 55 |
| TABLA 2.6: EJEMPLO DE SELECCIÓN DE BROCAS..... | 57 |
| TABLA 2.7: COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL | 62 |
| TABLA 2.8: BROCA #1, HUECO 16" PRIMERA SECCIÓN..... | 65 |
| TABLA 2.9: BROCA #2, HUECO 12.25" SECCIÓN SUPERFICIAL | 67 |
| TABLA 2.10: BROCA #3, HUECO 12.25" FORMACIÓN ORTEGUAZA | 69 |
| TABLA 2.11: BROCA #4, HUECO 12.25" TOPE FORMACIÓN TIYUYACU | 71 |
| TABLA 2.12: BROCA #5, HUECO 8.5" FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU | 73 |
| TABLA 2.13: BROCA #6, HUECO 8.5" FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- PRC..... | 75 |
| TABLA 2.14: BROCA #1, HUECO 12.25" PRIMERA SECCIÓN | 77 |
| TABLA 2.15: BROCA #2, HUECO 12.25" SECCIÓN SUPERFICIAL | 79 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 2.16 BROCA #3, HUECO 12.25" FORMACIÓN ORTEGUAZA | 81 |
| TABLA 2.17 BROCA #4, HUECO 8.5" TOPE FORMACIÓN TIYUYACU | 83 |
| TABLA 2.18: BROCA #5, HUECO 8.5" FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU | 85 |
| TABLA 2.19: BROCA #6, HUECO 8.5" FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- BASAMENTO | 87 |
| CAPÍTULO III | |
| SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN | |
| TABLA 3.1: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO | 92 |
| TABLA 3.2 HIDRAULICA BROCA TIPO T11 | 100 |
| TABLA 3.3 HIDRAULICA BROCA TIPO RSR519M | 101 |
| TABLA 3.4 HIDRAULICA BROCA TIPO DSX104DGJNSU | 102 |
| TABLA 3.5 HIDRAULICA BROCA TIPO RSX192HFGSW | 104 |
| TABLA 3.6 HIDRAULICA BROCA TIPO TD41AMPC | 105 |
| TABLA 3.7 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 12.25" | 106 |
| TABLA 3.8 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 8.5" | 107 |
| TABLA 3.9: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR | 109 |
| TABLA 3.10 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605Z | 113 |
| TABLA 3.11 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX | 114 |
| TABLA 3.12 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX (reutilizada) | 115 |
| TABLA 3.13 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605S | 116 |
| TABLA 3.14 HIDRAULICA BROCA TIPO GX-09 | 117 |
| TABLA 3.15 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM506Z | 118 |
| CAPÍTULO IV | |
| ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO | |
| TABLA 4.1 COSTOS POZO CUYABENO 32D | 120 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 4.2: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO CUYABENO | 123 |
| TABLA 4.3 COSTOS POZO VHR 12D..... | 127 |
| TABLA 4.4: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO VHR | 129 |
| TABLA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO | 132 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.1 CONOS O ESTRUCTURAS DE CORTE..... | 3 |
| FIGURA 1.2 TIPOS DE COJINETES | 4 |
| FIGURA 1.3 CUERPO DE BROCA TRICÓNICA | 4 |
| FIGURA 1.4 PARTES DE UNA BROCA TRICÓNICA..... | 5 |
| FIGURA 1.5 BROCA DE CORTADORES FIJOS (PDC) | 7 |
| FIGURA 1.6 VISTA FRONTAL DE UNA BROCA PDC | 8 |
| FIGURA 1.7 CORTE TRANSVERSAL DE UNA BROCA PDC | 8 |
| FIGURA 1.8 CORTADOR PDC..... | 9 |
| FIGURA 1.9 FRACTURA DE LA ROCA POR COMPRESIÓN..... | 12 |
| FIGURA 1.10 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE..... | 13 |
| FIGURA 1.11 CLASIFICACIÓN DE POZOS DIRECCIONALES | 18 |
| FIGURA 1.12 PERFIL DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO NEWTONIANO | 22 |
| FIGURA 1.13 ETAPAS DE FLUJO | 22 |

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO CUYABENO-V.H.R. | 33 |
| FIGURA 2.2 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO CUYABENO, PROFUNDIDAD TOPE “U” SUPERIOR..... | 36 |
| FIGURA 2.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO CUYABENO | 38 |
| FIGURA 2.4 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO VHR, PROFUNDIDAD BASE CALIZA “A” | 42 |
| FIGURA 2.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO V.H.R | 46 |
| FIGURA 2.6 E_s VS PROFUNDIDAD | 55 |
| FIGURA 2.7 COSTO POR PIE VS PROFUNDIDAD..... | 55 |
| FIGURA 2.8 COMPARACIÓN GRÁFICA SECCIÓN SUPERFICIAL | 62 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 2.9 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN | 66 |
| FIGURA 2.10 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL | 68 |
| FIGURA 2.11 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA..... | 70 |
| FIGURA 2.12 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU | 72 |
| FIGURA 2.13 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU | 74 |
| FIGURA 2.14 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- PRC..... | 76 |
| FIGURA 2.15 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN | 78 |
| FIGURA 2.16 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL | 80 |
| FIGURA 2.17 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA..... | 82 |
| FIGURA 2.18 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU | 84 |
| FIGURA 2.19 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU | 86 |
| FIGURA 2.20 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- BASAMENTO..... | 88 |
| CAPÍTULO III | |
| SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN | |
| FIGURA 3.1 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO. ... | 91 |
| FIGURA 3.2 PLAN DE BROCAS CAMPO CUYABENO. | 93 |
| FIGURA 3.3 SECCIÓN 1, DATOS. | 95 |
| FIGURA 3.4 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR. | 96 |
| FIGURA 3.5 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA. | 97 |
| FIGURA 3.6 SECCIÓN 3, ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA BROCA | 97 |
| FIGURA 3.7 SECCIÓN 3, OPTIMIZACIÓN HIDRAULICA | 98 |
| FIGURA 3.8 BROCA DE 26" T11 | 100 |
| FIGURA 3.9 BROCA DE 16" RSR519M | 101 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 3.10 BROCA DE 12.25" DSX104DGJNSU | 103 |
| FIGURA 3.11 BROCA DE 12.25" RSX192HFGSW | 104 |
| FIGURA 3.12 BROCA DE 12.25" TD41AMPC | 105 |
| FIGURA 3.13 BROCA DE 12.25" DSR619M | 107 |
| FIGURA 3.14 ESQUEMA DE PERFORACIÓN POZO CAMPO VHR. | 110 |
| FIGURA 3.15 PLAN DE BROCAS CAMPO VHR..... | 111 |
| FIGURA 3.16 BROCA DE 12.25" HC605..... | 113 |
| FIGURA 3.17 BROCA DE 12.25" HCM605ZX..... | 114 |
| FIGURA 3.18 BROCA DE 12.25" HC605S | 115 |
| FIGURA 3.19 BROCA DE 12.25" GX-09 | 117 |
| FIGURA 3.20 BROCA DE 8.5" HCM506Z | 118 |
| CAPÍTULO IV | |
| ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO | |
| FIGURA 4.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO CUYABENO | 124 |
| FIGURA 4.2 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO MODELO CAMPO CUYABENO | 125 |
| FIGURA 4.3 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO VHR..... | 130 |
| FIGURA 4.4 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO MODELO CAMPO V.H.R..... | 131 |
| FIGURA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO | 133 |

SIMBOLOGÍA

EPP= Empresa Pública PETROECUADOR.

PDC= Diamante policristalino compacto.

IADC= Asociación Internacional de Contratistas de Perforación.

CUY= Campo Cuyabeno.

VHR= Campo Víctor Hugo Ruales.

bls= Barriles.

BPPD= Barriles de petróleo por día.

ROP= Tasa de penetración.

RPM= Revoluciones por minuto.

SPM= Estroques por minuto.

GPM= Galones por minuto.

WOB= Peso sobre la broca.

TVD = Profundidad vertical real.

MD= Profundidad medida en la trayectoria del hueco.

MWD= Midiendo mientras se perfora.

ST= Dientes de acero.

TCI= Dientes con Insertos de Carburo de Tungsteno.

BHA= Ensamblaje de fondo.

PSI= Libra/pulgada cuadrada.

SW= Saturación de agua.

ho= Espesor neto de petróleo.

Φ = Porosidad.

K= Permeabilidad, md.

Es= Energía mecánica específica.

C= Costo de perforación por pie.

UCS= Esfuerzo Compresivo de la roca sin confinamiento.

JSA= Área de la ranura de residuos.

TFA= Área total de flujo

HSI= Caballaje hidráulico por pulgada cuadrada del área de la broca

IF= Fuerza de impacto.

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación, se desarrolla el estudio de la metodología de selección de brocas para nuevas perforaciones en el campo Cuyabeno-VHR, el cual es administrado por la empresa estatal EP PETROECUADOR.

El Primer Capítulo, comprende una conceptualización de las brocas de perforación, la clasificación de los tipos de brocas, los elementos que conforman la estructura de la broca, su aplicación para los diferentes tipos de perforación y la forma en la que actúan sobre la superficie de la roca, el sistema de evaluación del desgaste de la broca después de la perforación. Adicionalmente se describe las propiedades de fluidos de perforación y su directa relación con las brocas, finalmente se detalla el procedimiento para calcular la hidráulica de las brocas de perforación.

En el Segundo Capítulo, se realiza la descripción general del campo Cuyabeno-VHR, la estratigrafía, la estructura y la descripción de los principales yacimientos. Este capítulo se refiere a la metodología de selección del programa de brocas, parte decisiva de la planificación para la perforación de un pozo de petróleo, se describe el proceso para realizar dicha selección, la información necesaria para poder llevar a cabo este procedimiento y la evaluación propiamente dicha de las brocas utilizadas en las perforaciones de pozos en el campo Cuyabeno-VHR.

Se estudia dieciséis pozos, alcance que proporciona mayor visión para la selección de las brocas de mejor rendimiento, para perforar nuevos pozos dentro del campo.

En el Tercer Capítulo, se procede con la selección de las brocas con mejor desempeño en los pozos analizados en el Segundo Capítulo. Las brocas seleccionadas tienen menores tiempos de perforación y mayores intervalos de perforación con respecto al conjunto de brocas analizadas para cada una de las formaciones. Para la elaboración del programa de brocas, se tiene en cuenta condiciones importantes como el esquema de perforación, los puntos de

asentamiento de la tubería de revestimiento y de producción y las formaciones que atraviesan los pozos modelo.

Además, se detalla las características técnicas, propiedades y beneficios de las brocas seleccionadas por sección, con los parámetros operacionales recomendados y los intervalos que perfora cada una. Cada broca cuenta con un plan hidráulico calculado con el procedimiento detallado en el capítulo1, de esta manera se optimiza el funcionamiento de las brocas.

En el Cuarto Capítulo, se elabora un análisis de costos y de tiempos de perforación basado en la comparación de un pozo real y un pozo modelo, con el fin de determinar el ahorro generado con la utilización de las brocas recomendadas. Utilizando los programas de brocas recomendados, el tiempo de perforación del pozo modelo es menor que el tiempo de perforación del pozo real.

Para el análisis se toma en cuenta el costo por “suma global” de dos empresas proveedoras de brocas al mes de Diciembre del 2012.

Finalmente en el Capítulo Cinco, se presentan conclusiones y recomendaciones en base al proyecto realizado, para ser consideradas.

PRESENTACIÓN

La realización del presente Proyecto de Titulación está enfocada en estudiar la metodología de selección de brocas en el campo Cuyabeno-VHR, actualmente en manos de la empresa EP PETROECUADOR, con el objeto de optimizar los tiempos de perforación de un pozo de petróleo, para generar ahorro al momento de efectuar la perforación. La compañía operadora tiene como objetivo disminuir los costos de perforación de una manera confiable, optimizando los tiempos en los cuales se lleva a cabo la perforación de un pozo de petróleo.

La metodología de selección de brocas, consiste en la interpretación de parámetros y herramientas utilizadas en anteriores perforaciones, para realizar esta interpretación se usaron hojas de cálculo diseñadas especialmente para este análisis, para obtener como resultado las mejores brocas y los planes hidráulicos para cada una de las formaciones. La implementación de la metodología para la selección de brocas permitirá alcanzar mayores tasas de penetración durante las perforaciones de nuevos pozos y por ende, acortar el tiempo total de la perforación, por tal motivo, disminuir el costo de este trabajo.

Para llevar a cabo el presente proyecto, se investiga los registros de brocas y de fluidos de pozos perforados en el campo desde el año 2008, dando un mejor punto de vista en referencia a los desempeños de las brocas empleadas en los años anteriores.

Finalmente, para determinar la viabilidad y si el proyecto es económicamente rentable, se realiza un análisis técnico económico comparando los costos de perforación de un pozo real con los costos de un pozo modelo, concluyendo la disminución de los días de perforación de un pozo en el campo Cuyabeno-VHR.

Como resultado, se obtiene el proyecto realizado, con información, criterios y ejemplos útiles para la empresa Operadora, Escuela Politécnica Nacional e interesados en general en la metodología de selección de brocas.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN¹

1.1 BROCAS

Es la herramienta de corte utilizada para triturar y/o cortar las formaciones del subsuelo durante el proceso de perforación, está situada en el extremo inferior de la sarta de perforación.

1.1.1 PRINCIPIOS

El principio fundamental que cumplen las brocas durante un proceso de perforación es el de vencer los esfuerzos de corte y de compresión de la roca.

Para llevar a cabo este propósito, si el tipo de broca es una tricónica, los dientes deben incrustarse en la formación y posteriormente cortarla mientras se desplaza dentro de la misma.

En el caso de que la broca sea PDC el proceso se cumple mediante el cizallamiento generado por los cortadores de la broca que vencen la resistencia de la formación. De esta manera se diferencian dos tipos principales de brocas: de dientes y de arrastre.

El desempeño de la broca está directamente relacionado con el tipo y características de la roca que se desea cortar, principalmente en función de la dureza, factor importante para clasificar las brocas.

1.1.2 CLASIFICACIÓN

Las brocas son clasificadas de acuerdo a su mecanismo de ataque a la roca en dos tipos: tricónicas y PDC.

¹ Información tomada del Capítulo 2 y 3 del libro: HUGUES C. "Drill bit foundation", Versión 4-04.

1.1.2.1 Brocas tricónicas

Como su nombre indica, estas brocas están constituidas por tres conos giratorios con dientes que pueden ser de acero o de insertos de carburo de tungsteno dependiendo de las necesidades de trabajo.

1.1.2.1.1 Componentes de la broca tricónica

Sus tres componentes principales son:

- Conos o estructura de corte.
- Cojinetes.
- Cuerpo de la broca.

Conos o estructura de corte

Las estructuras de corte empleadas para las brocas tricónicas son de dos tipos diferentes:

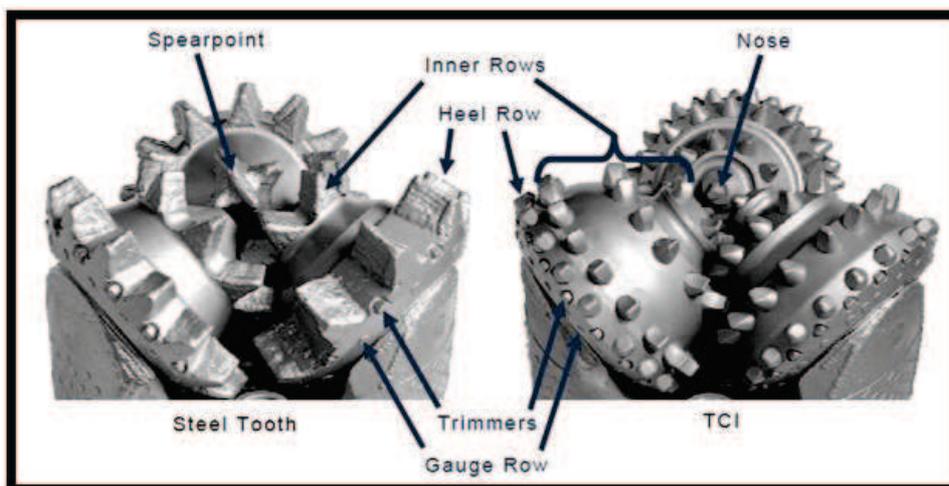
- Dientes de acero (ST).
- Dientes con insertos de carburo de tungsteno (TCI).

Conos con dientes de acero: Se construyen a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Las brocas con conos con dientes de acero pueden diseñarse para ser utilizadas en formaciones blandas, medias y duras.

Conos con dientes con insertos de carburo de tungsteno (TCI): De la misma manera que los conos con dientes de acero, estos se construyen a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Los dientes son sometidos a un proceso térmico para incrementar la resistencia y la fuerza de estas piezas, prolongando de esta manera el tiempo de vida útil de la broca en comparación a una broca con conos con dientes de acero. Estos dientes se colocan a presión en los orificios perforados en las superficies de los conos.

Esta broca está diseñada para perforar desde formaciones blandas, medianas y hasta muy duras. La figura 1.1, muestra los tipos de estructura de corte de la broca tricónica.

FIGURA 1.1 CONOS O ESTRUCTURAS DE CORTE



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cojinetes

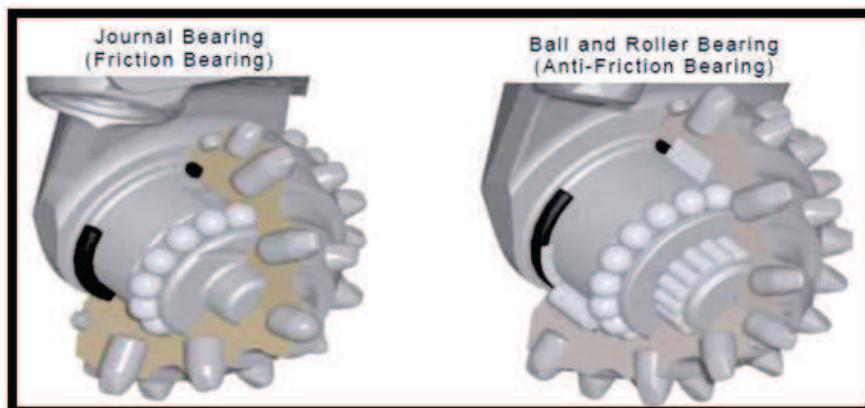
Es la parte de la broca donde se montan los conos, permiten que los conos puedan girar alrededor del cuerpo de la broca. Se clasifican en dos tipos principales:

- Cojinete a rodillos.
- Cojinete a fricción (Journal).

Cojinete a rodillos: están posicionados de tal forma que soportan la carga radial.

Cojinete a fricción: también conocido como journal, es un perno sólido unido a la superficie interna del cono que se convierte en el principal elemento del cojinete que soporta la carga radial.

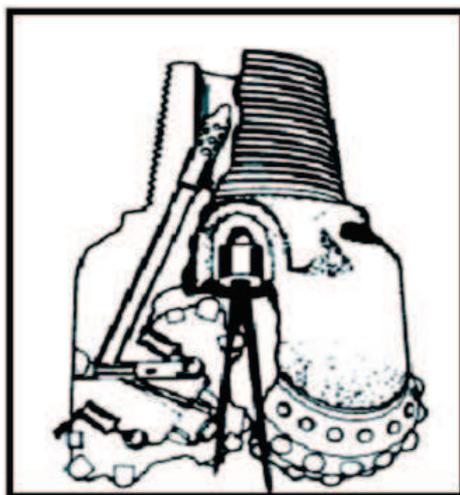
La figura 1.2, muestra los tipos de cojinetes una broca tricónica.

FIGURA 1.2 TIPOS DE COJINETES

FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cuerpo de la broca

Una de las funciones que cumple el cuerpo de la broca es direccionar el fluido de perforación para lograr una limpieza en el fondo del pozo más efectiva. En la actualidad, la mayoría de las brocas son del tipo a chorro, donde el fluido apunta hacia el fondo del pozo y no como anteriormente donde los orificios en el cuerpo estaban ubicados de tal forma que el fluido estaba direccionado para limpiar los conos de la broca. La figura 1.3, muestra el cuerpo de la broca y el direccionamiento del fluido de perforación hacia el fondo el pozo.

FIGURA 1.3 CUERPO DE BROCA TRICÓNICA

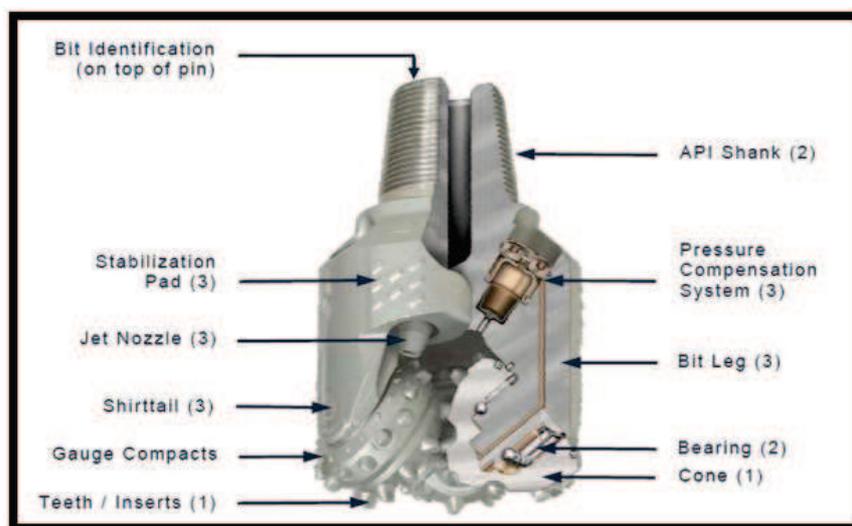
FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Partes del cuerpo de una broca tricónica:

La figura 1.4, muestra las partes de una broca tricónica.

- Conexión roscada para unir la broca con la sarta de perforación.
- Tres ejes de cojinetes para montar los conos.
- Depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- Orificios mediante los cuales el fluido de perforación efectúa la limpieza del pozo.

FIGURA 1.4 PARTES DE UNA BROCA TRICÓNICA



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

El código IADC para brocas tricónicas

Tomando en cuenta que existen distintas compañías fabricantes de brocas tricónicas y que cada una tiene sus propios diseños con características específicas, la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) desarrolló un sistema estandarizado para clasificar las brocas tricónicas y evitar confusiones entre los tipos de brocas equivalentes en relación con los distintos fabricantes. El código IADC, cuenta con un sistema de clasificación de tres dígitos, que se explica en la tabla 1.1.

TABLA 1.1: CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS

| | 1er Dígito | | 2do Dígito | | 3er Dígito | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sistema de Corte | | Dureza | | Sistema de rodamiento | | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Dientes de Acero | 1 | Para formación blanda | 1 | Suave | T | T | P | B | B | C | C | P | O |
| | | | 2 | Media suave | O | O | R | A | A | H | H | A | T |
| | | | 3 | Media dura | B | B | O | L | L | U | U | R | R |
| | | | 4 | Dura | E | E | T | E | E | M | M | A | O |
| | 2 | Para formación media | 1 | Suave | R | R | E | R | R | A | A | | S |
| | | | 2 | Media suave | A | A | C | O | O | C | C | P | |
| | | | 3 | Media dura | S | S | C | | | E | E | E | |
| | | | 4 | Dura | P | A | Ó | E | E | A | A | F | |
| | 3 | Para formación dura | 1 | Suave | A | R | R | L | L | S | S | R | R |
| | | | 2 | Media suave | A | E | A | A | A | E | E | A | F |
| | | | 3 | Media dura | L | L | / | L | L | S | S | R | R |
| | | | 4 | Dura | L | O | O | C | | A | A | Ó | |
| Dientes de Insertos | 4 | Para formación muy blanda | 1 | Suave | O | O | L | U | A | | | | |
| | | | 2 | Media suave | Y | Y | I | T | P | | | D | |
| | | | 3 | Media dura | B | B | E | B | R | O | | | I |
| | | | 4 | Dura | A | A | E | U | T | | | | R |
| | 5 | Para formación blanda | 1 | Suave | L | L | Y | R | C | | | P | P |
| | | | 2 | Media suave | E | E | | B | E | | | | R |
| | | | 3 | Media dura | R | R | B | C | I | | | | C |
| | | | 4 | Dura | O | O | A | A | Ó | | | | E |
| | 6 | Para formación media | 1 | Suave | S | S | L | E | B | | | C | C |
| | | | | | E | E | R | E | A | | | | Ó |
| | | | | | S | S | O | | | | | | N |
| | | | | | A | A | E | | | | | | A |
| 7 | Para formación dura | 1 | Suave | N | N | S | T | A | | | A | L | |
| | | 2 | Media suave | D | D | A | A | R | | | | | |
| | | 3 | Media dura | A | A | R | | | | | | C | |
| | | 4 | Dura | R | R | | | | | | | A | |
| 8 | Para formación extra dura | 1 | Suave | | | A | R | | | | | L | |
| | | 2 | Media suave | | | | | | | | | | |
| | | 3 | Media dura | | | | | | | | | | |
| | | 4 | Dura | | | | | | | | | | |

FUENTE: EP Petroecuador
ELABORADO POR: Walter Haro

1.1.2.2 Brocas de compacto de diamante policristalino o PDC

Las brocas de compacto de diamante policristalino o PDC pertenecen al conjunto de brocas de diamante con cuerpo sólido que utilizan materiales sintéticos para construir sus cortadores fijos. Estos tienen forma de pastillas (compactas de diamante). Al igual que las brocas tricónicas su diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo. La figura 1.5, muestra una broca PDC.

En perforaciones de pozos de petróleo pueden ser utilizadas en todo tipo de formaciones desde muy suaves hasta muy duras. Debido a sus distintos diseños y características, actualmente este tipo de broca es la más utilizada. Las brocas PDC pueden ser reutilizables lo que representa una ventaja económica.

FIGURA 1.5 BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.2.2.1 Componentes de la broca con cortadores PDC

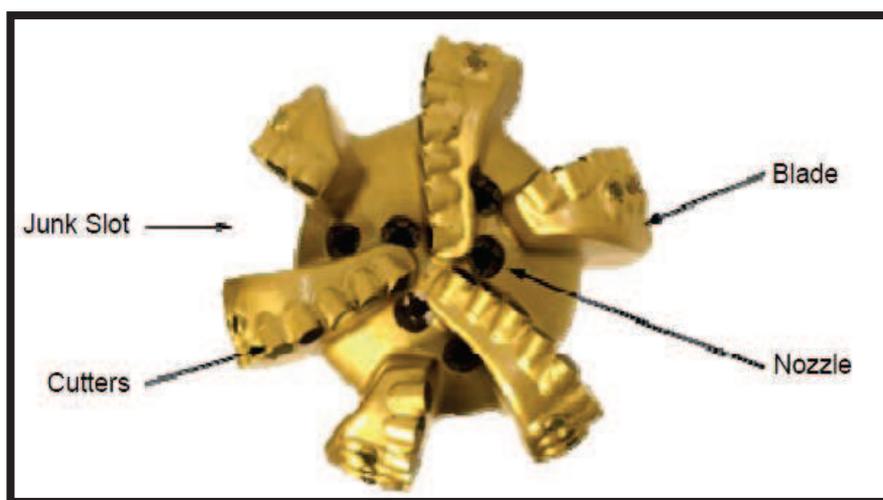
Las brocas PDC poseen distintos elementos de corte y sistemas hidráulicos, pero en general tienen los mismos componentes. Los tres componentes principales de una broca de diamante son:

- La estructura de Corte.

- El cuerpo o Corona.
- Espiga (shank).

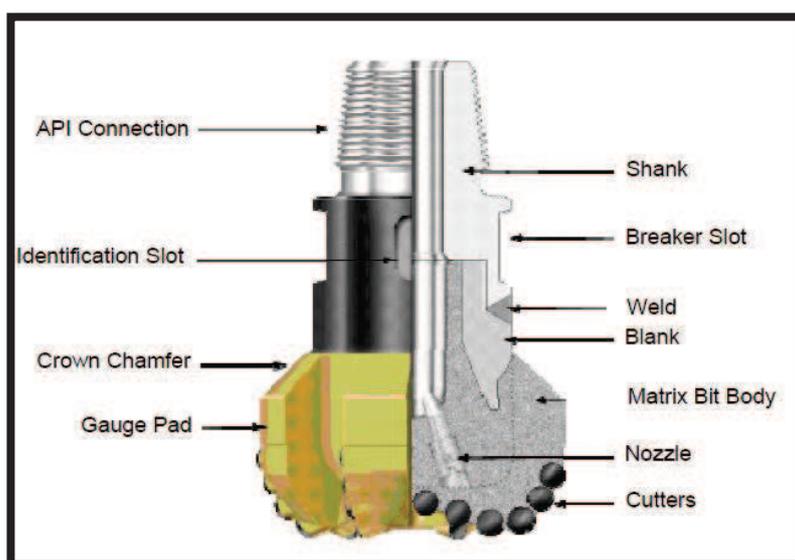
En las figuras 1.6 y 1.7, podemos observar los componentes de una broca PDC, en vista frontal y en corte transversal.

FIGURA 1.6 VISTA FRONTAL DE UNA BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

FIGURA 1.7 CORTE TRANSVERSAL DE UNA BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Estructura de corte

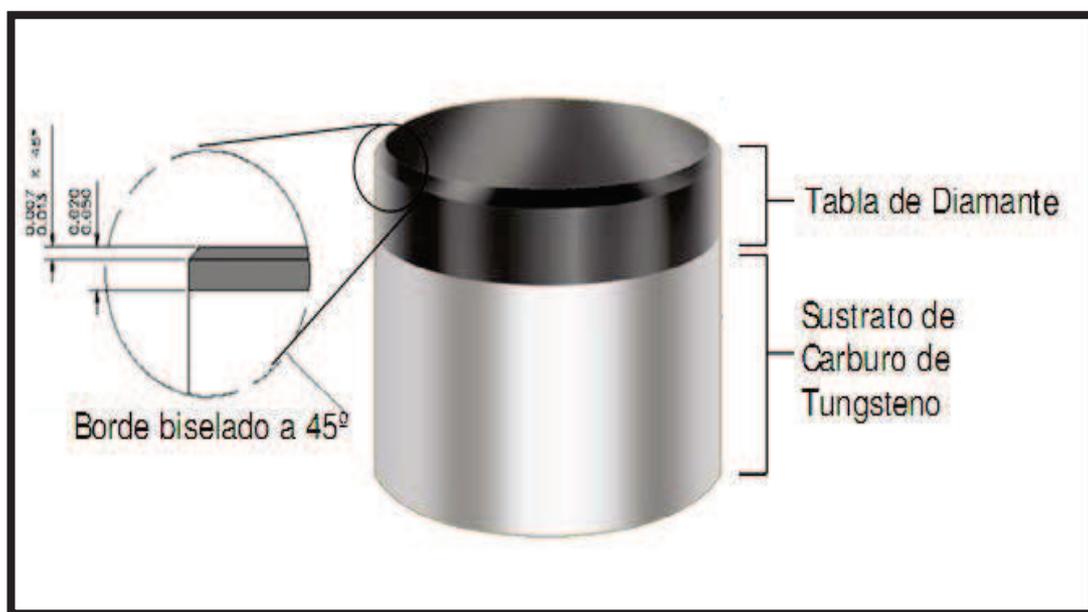
La estructura de corte está vinculada a la Corona pero es considerada un componente separado por la importancia de los elementos de corte en las aplicaciones de la broca.

Está constituida por diamantes sintéticos. El tipo de elemento de corte depende de la formación en la que se trabajará.

Cortadores PDC: Un cortador PDC consiste de una serie de diamantes sintéticos con un borde biselado de 45° unidos a un soporte de carburo de tungsteno cementado. Se sueldan en la broca después de haberse unido al cuerpo. Ver figura 1.8.

La durabilidad de un cortador dependerá de dos factores: la resistencia al impacto y a la abrasión.

FIGURA 1.8 CORTADOR PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cuerpo o corona

El cuerpo de la broca puede estar fabricado de:

- Acero.
- Carburo de tungsteno.

Cuerpo de acero: Para que el cuerpo tenga buena resistencia el material utilizado debe ser un acero de alta aleación. Debido a que este material posee una resistencia a la abrasión y a la erosión menor que la matriz de carburo de tungsteno, es necesario proteger el acero con material duro (hardfacing) y de esta manera prolongar su vida útil.

Cuerpo de carburo de tungsteno: Este material es altamente resistente a la abrasión y a la erosión, se fabrica a partir de carburo de tungsteno en polvo, con una aleación de níquel-cobre que actúa como aglutinante. El cuerpo define la dirección en que circulan los fluidos (incluyendo los conductos interiores) y las áreas de los canales de limpieza, además que brinda soporte y protección a los cortadores.

Espiga (shank)

Este componente se fabrica en acero de alto porcentaje de aleación tratado térmicamente. Une la broca con la sarta de perforación.

Cuando las brocas son de cuerpo de acero el shank se suelda al cuerpo de la broca y en el caso de las de cuerpo de carburo de tungsteno es soldado a la estructura de sostén.

El código IADC para brocas PDC

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC), desarrollo un sistema de clasificación para las brocas PDC de cuatro caracteres (una letra y tres números), que se explica en la tabla 1.2:

TABLA 1.2: CÓDIGO IADC PARA BROCAS PDC

| 1er CARACTER | | 2do CARACTER | | | | 3er CARACTER | | | 4to CARACTER | | | | | |
|------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-------|------|--|------------------|---------------|---------------------------------|----------------|---------|-------|------|---|
| TIPO DE CORTADOR | MATERIAL DEL CUERPO | PERFIL DEL CUERPO | | | | DISEÑO HIDRAULICO | | | TAMAÑO Y DENSIDAD DE CORTADORES | | | | | |
| | | ALTURA DEL FLANCO | ALTURA DEL CONO | | | DISTRIBUCION DE CORTADORES | TIPO DE ORIFICIO | | TAMAÑO | DENSIDAD | | | | |
| | | | Alta | Media | Baja | | Toberas | Orificio fijo | | Salida abierta | Alta | Media | Baja | |
| D | DIAMANTE NATURAL | MATRIZ | Alto | 1 | 2 | 3 | En Aletas | 1 | 2 | 3 | Grande | 1 | 2 | 3 |
| M | PDC | MATRIZ | Media | 4 | 5 | 6 | En Costillas | 4 | 5 | 6 | Mediano | 4 | 5 | 6 |
| S | PDC | ACERO | Baja | 7 | 8 | 9 | No agrupados | 7 | 8 | 9 | Pequeño | 7 | 8 | 9 |
| T | TSP | MATRIZ | 0= de doble centro o asimétrico | | | R= Flujo radial X= Flujo cruzado O= Otro | | | 0= Impregnado | | | | | |

FUENTE: EP Petroecuador
ELABORADO POR: Walter Haro

1.1.3 APLICACIÓN

1.1.3.1 Brocas tricónicas

Las brocas tricónicas pueden cumplir con muchas aplicaciones gracias a su diseño. Son utilizadas en perforaciones de formaciones muy duras, muy abrasivas, blandas, pegajosas, plásticas y cualquier combinación de estas modificando los parámetros operativos para cada caso.

1.1.3.2 Brocas PDC

El diamante otorga a esta broca las propiedades de alta conductividad térmica y dureza extrema, pueden ser empleadas en perforaciones desde formaciones semiduras a duras y en algunas ocasiones formaciones suaves.

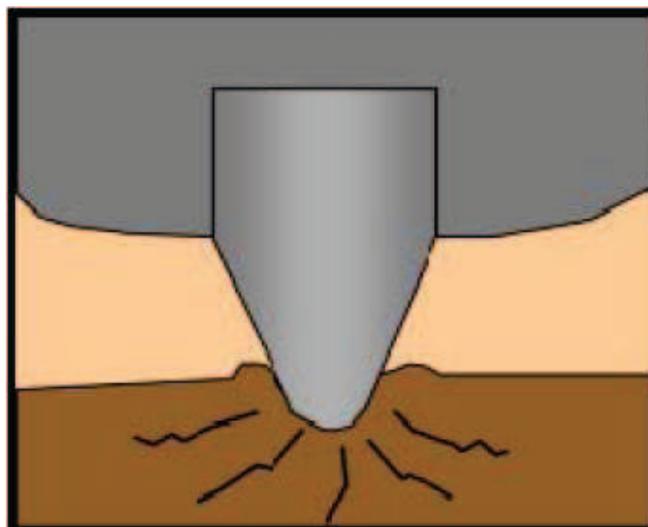
1.1.4 MECÁNICA DE CORTE

Durante la perforación de un pozo de petróleo la broca debe transmitir a la formación la energía suficiente para quebrar la roca y remover los recortes, las brocas tricónicas y PDC tienen distintas mecánicas de corte.

1.1.4.1 Mecánica de corte de las brocas tricónicas

La broca tricónica fractura la roca por compresión (trituración). Cuando se tritura la formación, se ejerce una carga perpendicular a la roca dando lugar a una serie de fracturas que se propagan radialmente desde el punto de contacto hacia el radio del hueco. La figura 1.9, muestra la fractura de corte de la roca por compresión.

FIGURA 1.9 FRACTURA DE LA ROCA POR COMPRESIÓN

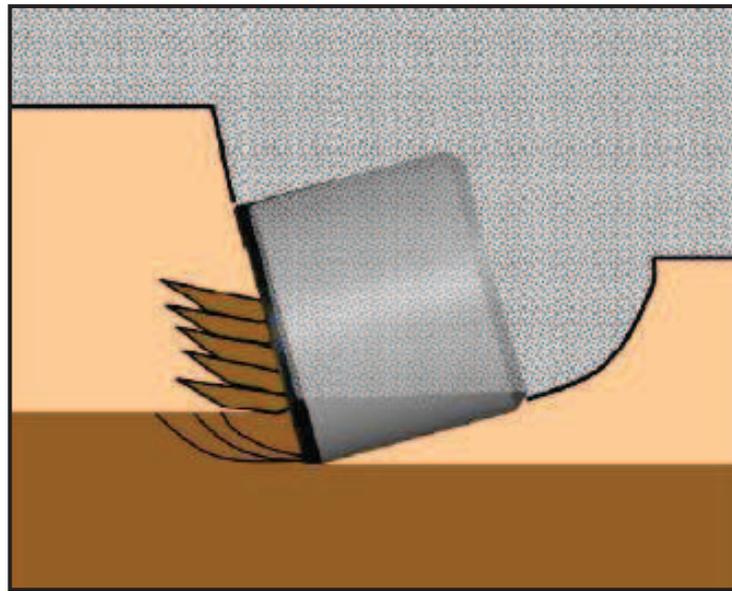


FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.4.2 Mecánica de corte de las brocas PDC

El cortador PDC fractura la roca por corte como lo muestra la figura 1.10. Durante esta acción la dirección de la carga y la fractura resultante son aproximadamente paralelas. A medida que el cortador penetra en la formación, su punta va cortando y removiendo el material por capas.

FIGURA 1.10 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.5 DESGASTE DE LAS BROCAS

La asociación internacional de contratistas de perforación (IADC), instauró un código para evaluar el desgaste que se produce en las brocas en cada corrida. Todas las brocas deben ser evaluadas una vez que sale del pozo, dependiendo de su estado se puede decidir correrlas nuevamente.

La tabla 1.3, muestra el código de evaluación de desgaste IADC, este código cuenta con una serie de ocho casilleros que están distribuidos de la siguiente manera: cuatro casilleros para evaluar el estado de la estructura de corte, un casillero para evaluar los cojinetes en el caso de las brocas tricónicas, un casillero

evaluar para el calibre de la broca y dos casilleros para puntualizar observaciones adicionales, en el primero otro tipo de desgaste de la broca y el casillero final para expresar la razón por la cual fue retirada la broca.

En los dos primeros casilleros, el desgaste de los dientes internos y externos es calificado en un rango de 0 a 8, siendo 8 el mayor desgaste que puede sufrir un cortador o desgaste total y 0 representa que el cortador no tuvo desgaste alguno. El tercer casillero es para especificar la característica del desgaste y el cuarto para definir su ubicación.

En el quinto casillero se califica la condición de los cojinetes en caso de que la broca sea tricónica. En el sexto casillero se coloca la evaluación del calibre de la broca en dieciseisavos de pulgada. Se debe contar con el anillo de calibración correspondiente para evaluar el desgaste, como se muestra en la tabla 1.4.

El séptimo casillero especifica un desgaste secundario y finalmente en el octavo casillero se indica la razón por la cual fue retirada la broca del pozo en el estaba perforando.

1.1.5.1 Ejemplo de la evaluación del desgaste de las brocas.

La evaluación está basada en el código detallado en la tabla 1.3. La tabla 1.4 muestra la evaluación del desgaste de la broca tipo HC605Z, ocupada en los primeros 500 pies de perforación del pozo VHR 19D.

1.1.5.1.1 Estructura de corte

La hilera interior y la hilera exterior no presentan desgaste, la evaluación para los dos primeros casilleros es cero.

En el tercer casillero, la evaluación es “NO” porque la estructura de corte no presenta desgaste, en el cuarto casillero la ubicación es “A” porque las características del desgaste es en toda el área.

1.1.5.1.2 Cojinete

Este casillero es únicamente utilizado en la evaluación de las brocas tricónica, en este ejemplo la broca utilizada es PDC y se la detalla con la letra “X”.

1.1.5.1.3 Calibre

La broca evaluada está totalmente en calibre, sin ningún daño, el código en este caso es la letra “I”.

1.1.5.1.3 Observaciones

No cuenta con observaciones adicionales “NO”, y la razón de sacar la broca del fondo es un cambio de BHA establecido.

TABLA 1.3: CÓDIGO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC

| FORMATO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC | | | | | | | |
|---|-----------------|--|-----------|---|-----------|--|--------------------|
| ESTRUCTURA DE CORTE | | | | COJINETE | CALIBRE | OBSERVACIONES | |
| HILERA INTERIOR | HILERA EXTERIOR | CARACT. DESGASTE | UBICACIÓN | COJINETE/ SELLO | [1/16 in] | OTRAS | RAZON DE LA SALIDA |
| Desgaste de los cortadores 0- Sin desgaste * * 8-Desgaste total | | Ubicación del desgaste C-cono N-nariz S-hombro G-Gauge A-toda el área N-nariz M-fila media H-fila externa | | Cojinete 0- Sin desgaste * * 8-Desgaste total X-Broca PDC | | Razon de la salida BHA-cambio BHA DMF- Falla motor LOG- registros RIG-Equipo CM- Lodo CP-Punto de core FM- Formación HR-Horas de P. PP- Presión bomba PR-ROP TD-Profundidad T. TQ-Torque WC-C. Climaticas WO-Wash out | |
| Características del desgaste *BC- Cono roto BF- Falla enlace BT-Diente roto BU- Embalada *CC-Cono agrietado *CI-interferencia ER-Erosión JD-Daño por basura *LC-Cono perdido LN- Boquilla perdida WO-Daño boquilla WT-Desgaste diente NO-Sin desgaste *Broca triconica | | Calibre I-Sin daño 1-1/16 fuera de calibre 2-2/16 fuera de calibre | | | | | |

ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 1.4: EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA BROCA HC605Z

| Broca Tipo: | | | | HC605Z | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------|--|---------------|--------------------|-----------------|
|  | | | |  | | | |
| ESTRUCTURA CORTADORA | | | | COJINETE | CALIBRE | OBSERACIONES | |
| HILERA INTERIOR | HILERA EXTERIOR | CARAT. DESGASTE | UBICACIÓN | COJINETE SELLO | GAUGE CALIBRE | OTRAS CARACTERIST. | RAZON DE SALIDA |
| 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | BHA |

FUENTE: Baker Hughes

ELABORADO POR: Walter Haro

1.2 PERFORACIÓN DIRECCIONAL

1.2.1 INTRODUCCIÓN

Para la correcta selección de una broca de perforación, se debe tomar en cuenta el tipo de perfil direccional diseñado para la perforación de un pozo de petróleo ya que es parte fundamental del esquema mecánico del mismo.

1.2.2 DEFINICIÓN

Es la técnica que consiste en conducir la perforación de un pozo a través de una trayectoria predeterminada, para alcanzar un objetivo (target) en el subsuelo.

1.2.3 PERFORACIÓN BAJO BALANCE

La perforación bajo balance, se define como la perforación intencional de una formación cuya presión excede la presión hidrostática que ejerce la columna del fluido de perforación. Es utilizada para mejorar el ROP, disminuye los riesgos de

pega diferencial y pérdida de circulación, protege las formaciones productoras. Este tipo de perforación se la utiliza para reducir el costo total de la perforación de un pozo de petróleo y para producir un reservorio. En el capítulo 2 se detallan las ventajas y desventajas de la perforación bajo balance durante la selección de las brocas de perforación.

1.2.4 CLASIFICACIÓN DE POZOS DIRECCIONALES

Los tres tipos de configuraciones de pozos direccionales comúnmente conocidos se muestran en la figura 1.11 y estos son:

- Perfil S.
- Perfil J.
- Perfil Horizontal.

1.2.4.1 Pozo con perfil S

La perforación inicia en sentido vertical; posteriormente se desvían siguiendo un ángulo máximo determinado que se mantiene hasta una profundidad establecida, desde este punto se conduce nuevamente a la vertical, disminuyendo el ángulo, alcanzando el objetivo final.

1.2.4.2 Pozo con perfil J

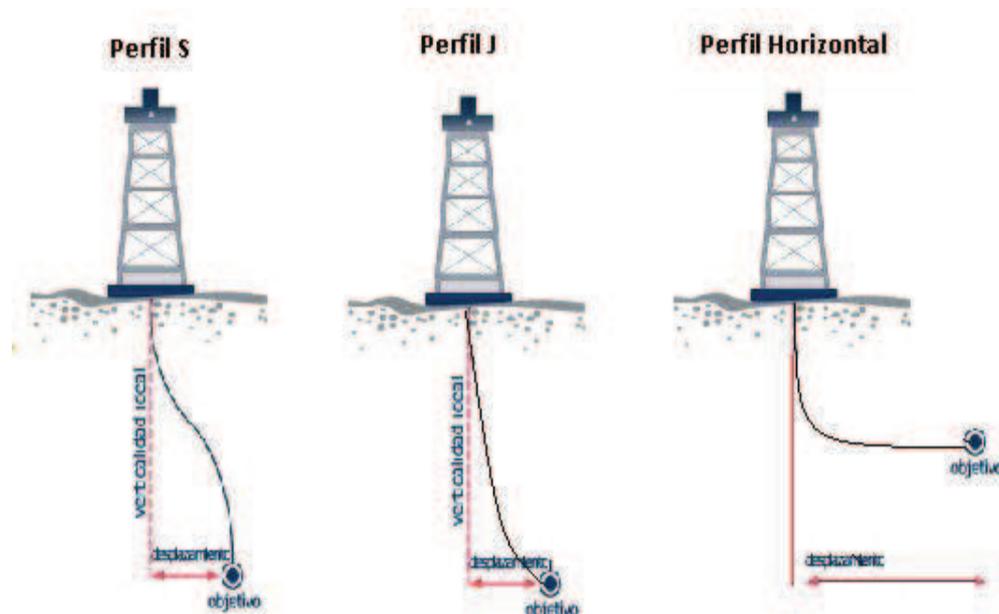
Esta trayectoria es similar al perfil S con la diferencia de que no presenta la parte final correspondiente a la caída del ángulo. En un perfil J, el ángulo máximo que se construye desde la vertical a la profundidad establecida se llega al objetivo final (target).

1.2.4.3 Pozo con perfil horizontal

A diferencia de los anteriores perfiles direccionales, el ángulo de desviación con respecto a la vertical se construye desde una profundidad establecida, a partir de

la cual se va incrementando hasta llegar a los 90° de desviación de la vertical, alcanzando el sentido horizontal.

FIGURA 1.11 PERFILES DE POZOS DIRECCIONALES



ELABORADO POR: Walter Haro

1.3 MECÁNICA DE ROCAS²

Dentro del proceso de selección de una broca está envuelto el concepto del comportamiento mecánico de las rocas y las constantes elásticas dinámicas de una determinada formación.

La Academia Nacional de las Ciencias define la mecánica de rocas como: “La ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca. Es una rama de la mecánica que trata con la respuesta de la roca a un campo de fuerzas aplicado en su medio ambiente físico.”

La investigación de la mecánica de rocas debe cubrir un amplio panorama, no solo por las varias ramas de ingeniería involucradas, sino a los muchos materiales

² Información tomada del capítulo III del PDF Barrenas e Hidráulica de perforación.

clasificados como “roca”. Algunas pueden mostrar una naturaleza elástica y quebradiza a miles de libras por pulgada mientras otras pueden ser poco elásticas a una presión muy inferior.

1.3.1 MINERALOGÍA

Es la ciencia que estudia la composición química, estructura cristalina y propiedades físicas de los minerales. Un mineral es un sólido cristalino homogéneo formado por procesos inorgánicos de la naturaleza.

La tabla 1.5 muestra las propiedades físicas de algunos minerales encontrados durante la perforación.

TABLA 1.5: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MINERALES

| Mineral | Dureza [MOHS] | Densidad | Color |
|-----------|---------------|----------|-------------------|
| Barita | 3.0-3.5 | 4.3-4.7 | Gris |
| Calcita | 3 | 2.72 | Blanca o Amarilla |
| Clorita | 1.0-2.5 | 2.6-3.0 | Verde pasto |
| Dolomita | 3.5-4.0 | 2.9 | Comunmente blanco |
| Yeso | 2 | 2.2-2.4 | Blanco |
| Halita | 2.0-2.5 | 2.1 | Blanco |
| Kaolinita | 1.0-2.0 | 2.2-2.6 | Blanco |
| Pirita | 6.0-6.5 | 4.9-5.2 | Amarillo |

FUENTE: Barrenas e hidráulica de perforación.

ELABORADO POR: Walter Haro

1.4 REOLOGÍA

Reología es la ciencia que trata de la deformación y del flujo de la materia, bajo diversas condiciones, incluyendo la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

1.4.1 VISCOSIDAD

La viscosidad se puede describir como la resistencia al flujo de una sustancia. En el campo petrolífero, los términos a continuación se usan para describir las propiedades reológicas del fluido de perforación:

- Viscosidad embudo (seg/qt o seg/l).
- Viscosidad plástica (cP o mPa•seg).
- Punto cedente (lb/100 pies² o Pa).
- Viscosidad a baja velocidad de corte (cP o mPa•sec).
- Esfuerzos de gel (lb/100 pies² o Pa).

1.4.2 ESFUERZO DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE

Esfuerzo de corte. Se puede describir como un esfuerzo de fricción que aparece cuando una capa de fluido se desliza encima de otra. El esfuerzo de corte es la fuerza requerida para mantener la velocidad de corte.

La velocidad a la cual una capa pasa por delante de la otra capa se llama velocidad de corte

1.4.3 VISCOSIDAD PLÁSTICA

La parte de la resistencia al flujo que es causada por la fricción mecánica. Altas concentraciones de sólidos llevan a una alta fricción que aumentará la viscosidad plástica. Disminuir el tamaño de los sólidos a volumen constante aumenta también la viscosidad plástica, debido a un aumento en el área de contacto entre las partículas que aumenta la fricción.

1.4.4 PUNTO CEDENTE

Es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido, también se lo conoce como "Yield Point". Es la resistencia al flujo causada por fuerzas electroquímicas entre partículas sólidas del fluido de perforación.

Es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase fluida.

1.4.5 VISCOSIDAD A BAJA VELOCIDAD DE CORTE

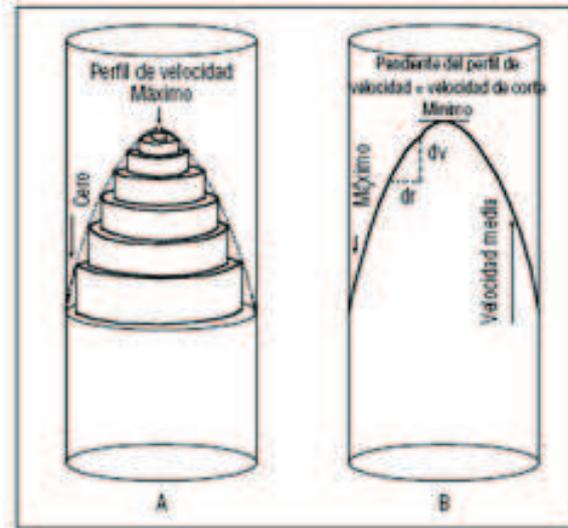
A través de numerosos estudios de laboratorio y en base a la experiencia de campo, se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte (6 y 3 RPM) tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo que el punto cedente.

1.4.6 TIXOTROPÍA Y ESFUERZOS DE GEL

La tixotropía es la propiedad demostrada por algunos fluidos que forman una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado de fluido cuando se aplica un esfuerzo de corte. La magnitud de la gelificación, así como el tipo de esfuerzo de gel, es importante en la suspensión de los recortes y del material densificante. No se debe permitir que la gelificación alcance un nivel más alto del necesario para cumplir estas funciones.

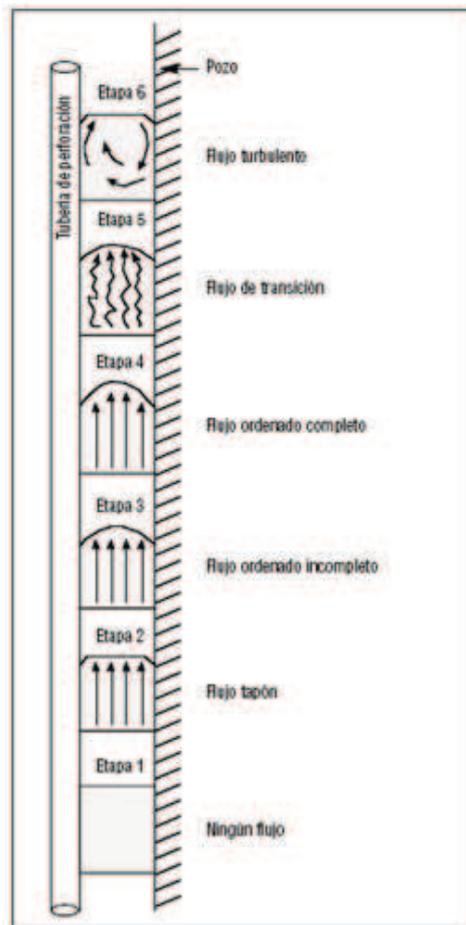
La figura 1.12, muestra la velocidad de un fluido Newtoniano y la figura 1.13 las etapas de flujo de un fluido.

FIGURA 1.12 VELOCIDAD DE UN FLUIDO NEWTONIANO



FUENTE: Reología e Hidráulica

FIGURA 1.13 ETAPAS DE FLUJO



FUENTE: Reología e Hidráulica

1.5 HIDRÁULICA DE PERFORACIÓN³

En cuanto a la hidráulica de perforación, el fluido tiene como función la limpieza del fondo del pozo y acarreo de los recortes hasta superficie. La capacidad de la remoción de recortes por los fluidos de perforación está en función de la presión de salida de las toberas y del gasto de circulación. En el capítulo 3, se realiza la simulación hidráulica para determinar los parámetros óptimos para cada una de las brocas.

Cuando la potencia hidráulica, debido a la presión por gasto, es máxima, la capacidad de remoción será óptima.

El gasto de circulación es proporcional a la velocidad de fluido de perforación a la salida de las toberas, por otro lado, la presión representa la energía necesaria para impulsar la masa de fluido contra el fondo del pozo.

La máxima potencia hidráulica de la broca depende de la efectividad de la bomba, debido a que la velocidad de la penetración aumenta. Una vez que se llega al nivel de "limpieza perfecta" (recortes que se levantan del fondo a medida que se generan), cualquier incremento en la potencia hidráulica deja de afectar un aumento en los avances.

El diseño de un óptimo programa hidráulico de perforación debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Incrementar la velocidad de penetración, en función de una efectiva limpieza del fondo del agujero.
- Evitar o disminuir la excesiva erosión de las paredes del agujero, y no provocar derrumbes o deslaves.
- Controlar las pérdidas de presión en el sistema de circulación.

³ Información tomada del Capítulo 4 del libro: Baker Hugues INTEQ "Manual de ingeniería", 2001.

Se debe considerar que las propiedades del fluido de perforación en un cálculo hidráulico son importantes, si se presentan altas densidades o viscosidades, se conoce que los efectos sobre las pérdidas de presión por fricción son altos.

El caudal mínimo para limpiar el hueco es de 30 gpm por pulgada de diámetro del hueco, por ejemplo en un hueco de 8 ½" de diámetro necesita un caudal de 255 gpm. Así mismo el caudal máximo por pulgada de diámetro es de 50 gpm.

1.5.1 HIDRÁULICA DE LA BROCA

Se realiza varios cálculos de hidráulica para mejorar el rendimiento de la perforación. Estos son cálculos de potencia hidráulica, fuerza de impacto y velocidad del chorro.

1.5.1.1 Pérdida de presión en la broca

La pérdida de presión en la broca se calcula con la fórmula 1.1.

$$P_{broca} = \frac{156\rho Q^2}{(D_{n1}^2 + D_{n2}^2 + D_{n3}^2 + \dots)^2} \quad (1.1)$$

Para las brocas de cortadores de diamante, el área de flujo total (TFA) y los factores de conversión son sustituidos para obtener la ecuación 1.2

$$P_b(\text{psi}) = \frac{\rho Q^2}{10.858 (TFA)^2} \quad (1.2)$$

Donde:

P_b = pérdida de presión de la broca [psi]

ρ = densidad [lb/gal]

Q = caudal [gpm]

TFA = área de flujo total [in²]

1.5.1.2 Potencia Hidráulica

La potencia hidráulica “hpp” tiene un intervalo recomendado para la mayoría de brocas, este es de 2.5 a 5.0 caballos de fuerza por pulgada cuadrada (HSI) del área de la broca.

Tener una potencia hidráulica baja en la broca puede traer como consecuencia un deficiente rendimiento de la broca y por lo tanto bajas ratas de penetración.

$$hhp_b = \frac{QP_b}{1714} \quad (1.3)$$

Donde:

hhp_b = potencia hidráulica de la broca

La potencia hidráulica por pulgada cuadrada del área de la broca se calcula con la fórmula 1.1.

$$HSI = \frac{1.27 * hhp_b}{\text{Tamaño de la broca}^2} \quad (1.4)$$

Donde:

hhp_b = potencia hidráulica de la broca

Tamaño de la broca = diámetro de la broca [in]

1.5.1.3 Velocidad de la tobera

La velocidad de la tobera en una broca siempre será la misma sin importar que varíe el tamaño de las toberas. Las velocidades de tobera recomendadas en la mayoría de brocas es de 250 a 450 pies/seg, velocidades mayores a este intervalo pueden desgastar la estructura de corte de la broca.

$$V_n = \frac{417.2 * Q}{D_{n1}^2 + D_{n2}^2 + D_{n3}^2 + \dots} \quad (1.5)$$

Donde:

V_n = velocidad de la tobera tobera [ft/seg]

1.5.1.4 Fuerza de impacto (IF)

Es la velocidad de la tobera por el caudal por la densidad del fluido de perforación medida en libras.

$$IF = \frac{V_n Q \rho}{1.930} \quad (1.6)$$

Donde:

IF = fuerza de impacto [lb]

La fuerza de impacto por pulgada cuadrada (psi) es:

$$IF = \frac{1.27 * IF(lb)}{\text{Tamaño de la broca}^2} \quad (1.7)$$

1.5.1.5 Porcentaje de pérdida de presión en la broca

En general cuando se utiliza entre el 50% y el 65% de la presión superficial en la broca se obtiene una hidráulica adecuada.

$$\%P_b = \frac{P_b}{PSI_{superficie}} * 100 \quad (1.8)$$

1.5.1.6 Potencia hidráulica del sistema

Se utiliza como criterio de comparación de la eficiencia del programa hidráulico.

$$hpp_{sistema} = \frac{PSI_{superficie} * Q}{1714} \quad (1.9)$$

1.5.2 CAÍDAS DE PRESIÓN

Para cumplir con el objetivo de un análisis hidráulico se debe calcular el las caídas de presión que existen en el espacio anular como también en la sarta de perforación.

1.5.2.1 Caída de presión en el anular

Para calcular la caída de presión en el anular a lo largo de todo el pozo en cada una de sus secciones se debe seguir el siguiente procedimiento.

- Conocer la geometría del pozo, es decir el diámetro del hueco, diámetros internos y externos de la tubería de revestimiento y los diámetros internos y externos de la sarta de perforación.
- Calcular la velocidad del fluido.

$$V_a = \frac{0.408 * Q}{D_2^2 - D_1^2} \quad (1.10)$$

Donde:

V_a = Velocidad anular del fluido en el intervalo [ft/seg].

Q = Caudal de fluido [gpm].

D_2 = Diámetro interno del hueco.

D_1 = Diámetro externo de la tubería de perforación [in].

- Calcular el índice de comportamiento de flujo n_a .

$$n_a = 0.5 \log \frac{\theta_{300}}{\theta_3} \quad (1.11)$$

Donde:

Θ_{300} = medidor V-G, lectura para 300 rpm.

Θ_3 = medidor V-G, lectura para 3 rpm.

- Calcular el factor de consistencia anular k_a [poise].

$$k_a = \frac{5.11 * \theta_{300}}{511^{n_a}} \quad (1.12)$$

- Calcular la viscosidad efectiva μ_{ea} [cp].

$$\mu_{ea} = 100 * k_a \left[\frac{144 * V_a}{D_2 - D_1} \right]^{n_a - 1} \quad (1.13)$$

- Calcular el número de Reynolds Re_a .

$$Re_a = \frac{928 V_a (D_2 - D_1) \rho}{\mu_{ea} \left[\frac{2n_a + 1}{3n_a} \right]^{n_a}} \quad (1.14)$$

Donde:

ρ = densidad del fluido [lbs/gal]

- Calcular el factor de fricción f_a .

$$f_a = \frac{(\log(n_a) + 3.93) / 50}{Re_a^{[(1.75 - \log(n_a)) / 7]}} \quad (1.15)$$

- Calcular la caída de presión P_a , para cada sección del pozo.

$$P_a = \frac{f_a V_a^2 \rho}{25.81 (D_2 - D_1)} * L \quad (1.16)$$

Donde:

L = longitud del intervalo (ft)

La pérdida total de de presión en el anular es la sumatoria de la perdida en el anular de cada sección del pozo.

$$P_{aT} = \sum P_a \quad (1.17)$$

1.5.2.2 Caída de presión en la sarta de perforación

- Calcular la velocidad del fluido en la tubería de perforación V_p .

$$V_p = \frac{0.408 * Q}{D^2} \quad (1.18)$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería de perforación [in].

- Calcular el índice de comportamiento de flujo n_p .

$$n_p = 3.32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \quad (1.19)$$

Donde:

Θ_{600} = medidor V-G, lectura para 600 rpm.

- Calcular el factor de consistencia en la tubería k_p [poise].

$$k_p = \frac{5.11 * \theta_{600}}{1022^{n_p}} \quad (1.20)$$

- Calcular la viscosidad efectiva μ_{ep} [cp].

$$\mu_{ep} = 100 * k_p \left[\frac{96V_p}{D} \right]^{n_p - 1} \quad (1.21)$$

- Calcular el número de Reynolds Re_p , para el intervalo de la tubería.

$$Re_p = \frac{928V_p D \rho}{\mu_{ep} \left[\frac{2n_p + 1}{3n_p} \right]^{n_p}} \quad (1.22)$$

- Calcular el factor de fricción f_p .

$$f_p = \frac{(\log(n_p)+3.93)/50}{Re_p^{[(1.75-\log(n_p))/7]}} \quad (1.23)$$

- Calcular la caída de presión P_p , para cada sección del pozo.

$$P_p = \frac{f_p V_p^2 \rho}{25.81 D} * L \quad (1.24)$$

La pérdida total de de presión en la sarta de perforación es la sumatoria de la pérdida de cada sección del pozo.

$$P_{pT} = \sum P_p \quad (1.25)$$

1.5.2.3 Optimización de la hidráulica

La optimización de la hidráulica se utiliza para dimensionar el tamaño de las boquillas de la broca para lograr una limpieza óptima del hoyo mediante un caballaje hidráulico máximo, maximizando la fuerza de impacto del fluido en la formación, para mejorar la rata de penetración.

- Establecer la presión disponible para la selección de la boquilla.

$$P_B = P_{MAX} - P_{aT} - P_{pT} - P_S \quad (1.26)$$

Donde:

P_B = Pérdida de presión en la broca, [psi].

P_{MAX} = Presión máxima del tubo vertical, [psi].

P_{aT} = Pérdida total de presión en el anular, [psi].

P_{pT} = Pérdida total de presión en la sarta de perforación, [psi].

P_S = Pérdida de presión del sistema superficial, [psi].

- Calcule el área total óptima de las boquillas.

$$A_t = \frac{Q}{2.96 \left[\frac{(1238.5)C(P_B)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1.27)$$

Donde:

A_t = Área total óptima de las boquillas, [in²]

C = una constante

- 0.65 para HHP máximo.
 - 0.48 para fuerza de impacto máxima.
 - 0.59 para una solución intermedia HHP-fuerza de impacto.
- Calcular los tamaños de las boquillas, [1/32 in].

$$J_1 = \left[\frac{1303.797}{N} * A_t \right]^{1/2} \quad (1.28)$$

$$J_3 = \left[\frac{1303.797}{N-2} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + J_2^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.29)$$

$$J_4 = \left[\frac{1303.797}{N-3} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + J_2^2 + J_3^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.30)$$

$$J_N = \left[\frac{1303.797}{1} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + \dots + J_{N-1}^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.31)$$

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de selección de las brocas adecuadas para perforar un pozo de petróleo se deben analizar un gran número de variables que tienen influencia entre sí. Por lo tanto se necesita obtener la siguiente información:

- Las formaciones que atraviesa el pozo y sus espesores.
- El desgaste de brocas anteriormente utilizadas.
- El desempeño de las brocas en perforaciones de pozos vecinos.
- Los registros geofísicos de pozos vecinos y del mismo pozo (si se tienen).
- Los fluidos de perforación apropiados en función de la broca elegida.
- Hidráulica y optimización de las brocas.

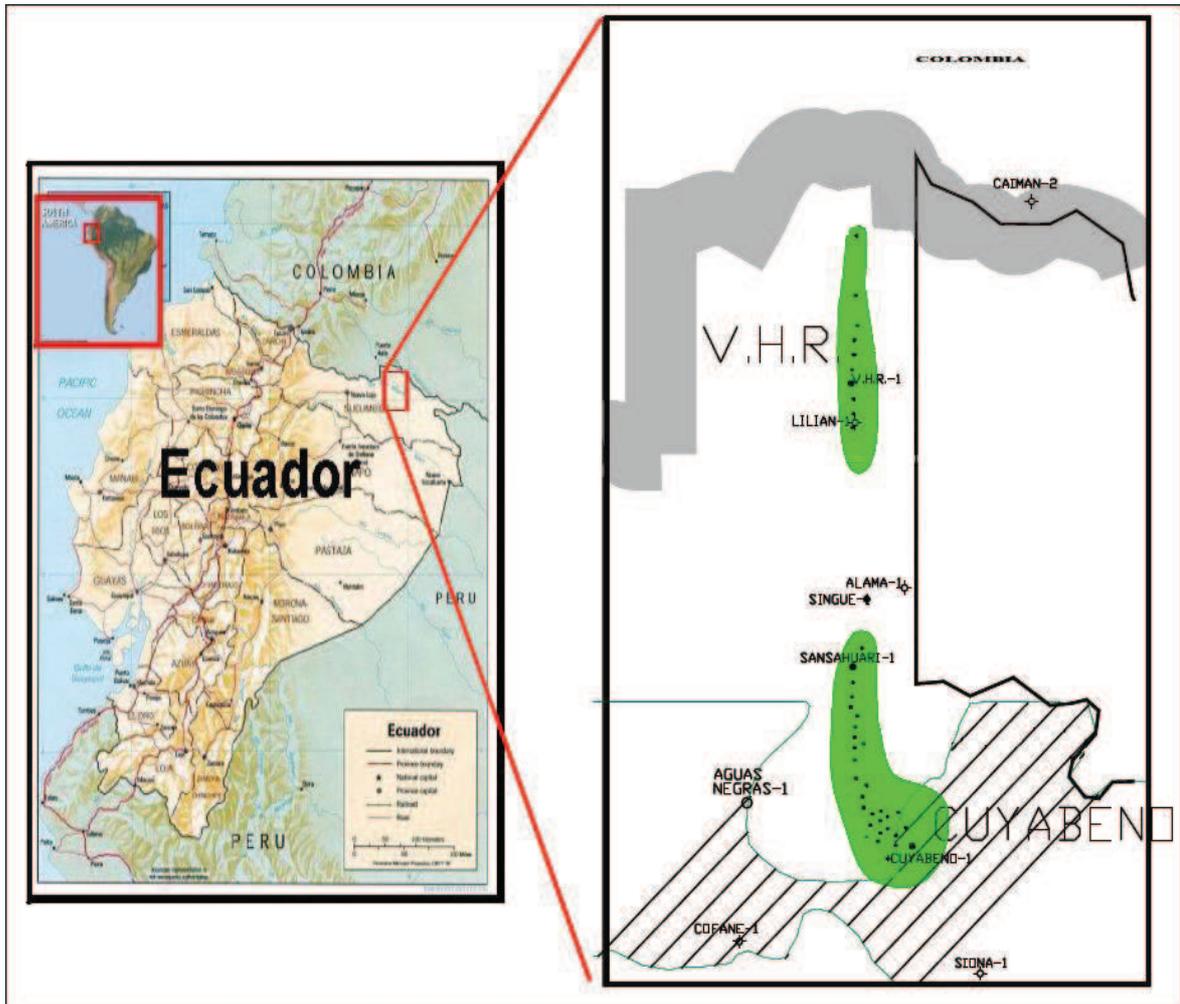
2.2 GENERALIDADES DE LOS CAMPOS

Los campos Cuyabeno y V.H.R, ubicados en la región Amazónica Ecuatoriana al Nororiente del país, provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio. La figura 2.1, muestra la ubicación geográfica del campo Cuyabeno-VHR.

El campo Cuyabeno, descubierto mediante la perforación del pozo CUY-01 por la compañía Texaco en el año de 1972 con una producción de 648 BPPD de 26° API del reservorio U. El campo pasó a manos de PETROECUADOR en 1984.

El campo VHR, anteriormente llamado Cantagallo, fue uno de los mayores éxitos de exploración de Petroproducción (Ex-CEPE) en el año de 1988, el mismo que incorporó 4500 BPPD a la producción nacional a través de los 9 pozos que se encontraban en producción.

FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA CAMPO CUYABENO-VHR



FUENTE: Grupo Cuyabeno, EP Petroecuador.

2.2.1 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO CUYABENO

El campo Cuyabeno, está ubicado en la región Amazónica Ecuatoriana, al norte de la provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio, aproximadamente a 23 Km al noreste de la población de Tarapoa, específicamente en la Reserva Faunística del Cuyabeno.

Los límites de Cuyabeno son: al norte el campo Sansahuari, al sur Tarapoa y el campo Libertador al oeste.

2.2.1.1 Estratigrafía

El campo Cuyabeno, tiene una estratigrafía que está constituida por rocas que corresponden al periodo Cretácico Medio Superior representadas por sus arenas principales: U inferior, U superior y T superior, pertenecientes a la formación Napo.

2.2.1.1.1 Basamento

Cuarzoso, rosado, café amarillo claro, sub-translúcido fragmentos angulosos a sub-angular, asociado con feldespatos y clorita. Tiene un espesor promedio de 60 pies.

2.2.1.1.2 Formación Hollin

La formación Hollin tiene un espesor promedio de 50 pies, se presenta como una arenisca cuarzosa, clara, translúcida a sub-translúcida, suelta, grano fino a medio, sub-redondeado a sub-angular, buena a regular selección, matriz no visible, porosidad no visible. Pobre manifestación de hidrocarburos.

2.2.1.1.3 Formación Napo

Está constituida por niveles de areniscas y calizas con intercalaciones de lutitas oscuras con un espesor aproximado de 912 pies. La arenisca U entre sus tres niveles denominados U superior, U medio y U inferior, tiene un espesor de 140 pies aproximadamente. Por otro lado la arenisca T se subdivide en dos niveles: T superior y T inferior.

2.2.1.1.4 Formación Tena

Esta formación tiene un espesor promedio de 364 pies litológicamente está compuesta por arenisca cuarzosa, clara en parte gris clara, grano fino a muy fino, sub-redondeado a sub-angular, suelta, en parte moderadamente consolidada, regular selección, en parte matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo.

2.2.1.1.5 Formación Tiyuyacu

La formación Tiyuyacu presenta un espesor promedio de 1510 pies, ambiente continental, litológicamente está constituida por arcillolita café rojiza, conglomerado cuarzoso, limolita gris clara y arenisca cuarzosa amarillenta.

2.2.1.2 Estructura

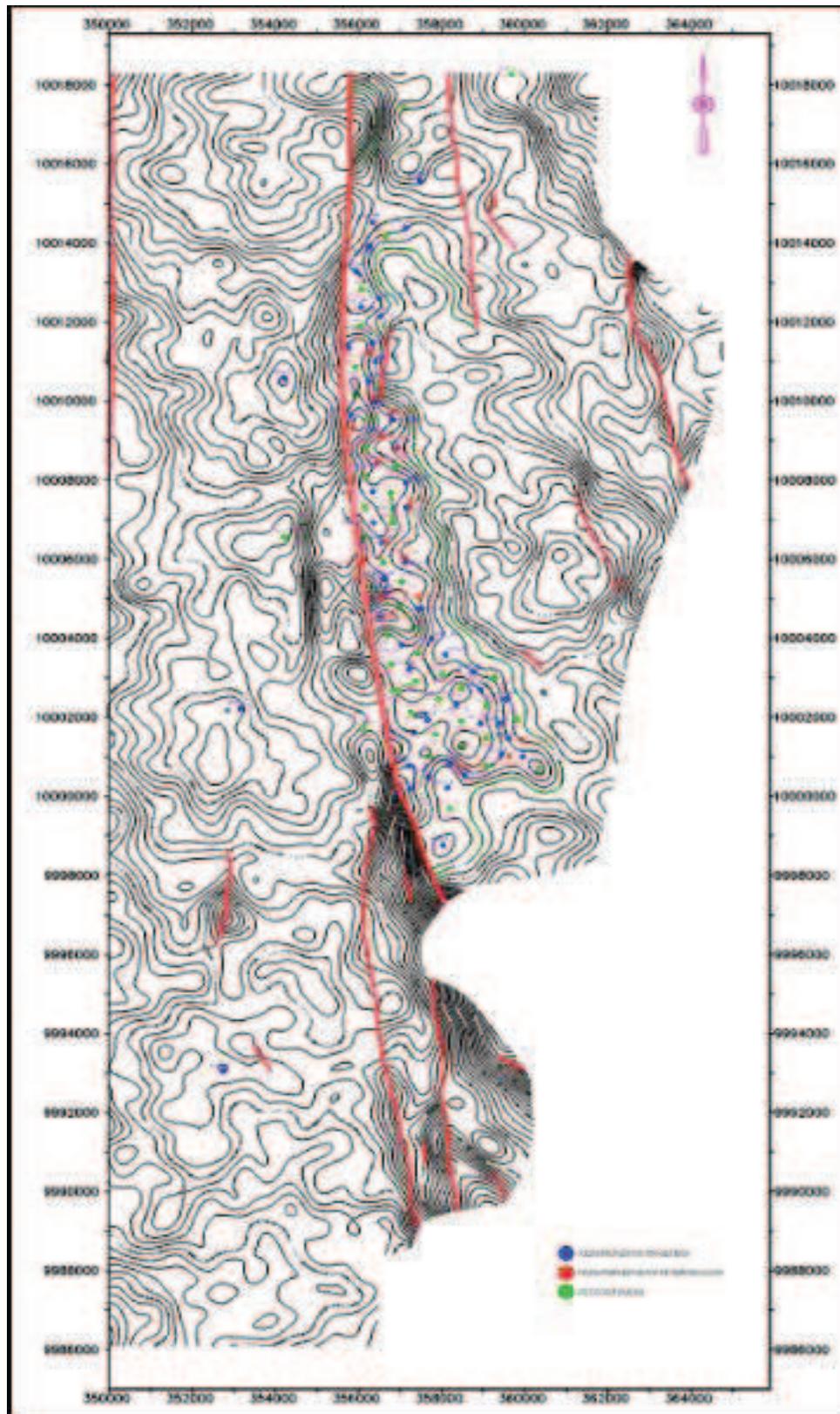
El campo Cuyabeno, es un anticlinal alargado. El pliegue se encuentra cortado al oeste por una falla inversa de carácter sellante y representa el límite oeste de los yacimientos. Su estructura presenta dos altos en los cuales se han perforado pozos del campo Cuyabeno y Sansahuari.

Es una estructura enlongada en dirección N-SSE, aproximadamente 16 Km de longitud que se ensancha en dirección sur. Tiene al menos cinco culminaciones o altos niveles de la base Caliza. Se conforma como resultado de una inversión tectónica durante el eoceno temprano a medio, la deformación sedimentaria de Tiyuyacu inferior evidencia un aporte de cambio de espesor entre la parte alta y el flanco occidental de la estructura. Las primeras interpretaciones estructurales mostraban dos estructuras independientes, una septentrional denominada Sansahuari, y otra meridional a la que se la denominó Cuyabeno, sobre ambas se perforan pozos exploratorios.

Se realiza una adquisición de sísmica 2D en los años 1991 y 1992 que permitió realizar nuevos estudios geológicos, llegando a definir que las estructuras Cuyabeno-Sansahuari son una sola, esto se pudo confirmar con la perforación de los pozos de avanzada Cuyabeno-21 y Sansahuari-10 a finales del año 1995.

En el año 2009, se realiza un estudio de sísmica 3D, y se comprueba que el sector oriente del campo, por causa de la presión, forma las estructuras Cuyabeno-Sansahuari y Singue. Después de la interpretación geológica, se concluye que estas estructuras son una sola, consecuentemente se incluye los campos VHR y Bloque 27 en el Área de Cuyabeno desde este año. La figura 2.2, muestra el mapa estructural del campo Cuyabeno en profundidad tope U superior con un intervalo de contorno de diez pies.

**FIGURA 2.2 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO CUYABENO,
PROFUNDIDAD TOPE “U” SUPERIOR**



FUENTE: EP Petroecuador.

2.2.1.3 Descripción de los principales yacimientos

El campo Cuyabeno tiene 5 niveles de interés, “T” superior, “T” inferior, “U” superior, “U” media, “U” inferior. La figura 2.3, muestra la columna estratigráfica del campo Cuyabeno.

2.2.1.3.1 Arenisca T inferior

Constituida por arenisca cuarzosa, blanca a blanca crema, transparente, translúcida, de grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, buena a regular selección, friable en parte moderadamente consolidada, ocasionalmente matriz arcillosa.

2.2.1.3.2 Arenisca T superior

Compuesta por arenisca cuarzosa crema a café clara, sub-transparente, sub-translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, buena a regular selección, friable a moderadamente consolidada, matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo con inclusiones de glauconita.

2.2.1.3.3 Arenisca U inferior

Compuesta por arenisca cuarzosa, crema a café clara, transparente, translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, friable a moderadamente consolidada, regular selección, matriz no visible, cemento ligeramente calcáreo.

2.2.1.3.4 Arenisca U media

Constituida por arenisca cuarzosa, crema a blanca crema, transparente, translúcida, grano fino, menor grano medio, sub-angular a sub-redondeada, friable a moderadamente consolidada, ocasionalmente matriz arcillosa.

2.2.1.3.5 Arenisca U superior

Compuesta por arenisca cuarzosa, crema a blanca crema, transparente, translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, friable a moderadamente consolidada, regular selección, matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo, con inclusiones de glauconita.

FIGURA 2.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO CUYABENO

| CRONO-ESTRATIGRAFIA | | FORMACION | LITOLOGIA | MIEMBRO |
|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------|---|
| ■ | PLIOCENO | | | |
| | MIOCENO | CHALCANA | | CHALCANA SUPERIOR CHALCANA INFERIOR |
| ■ | OLIGOCENO | ORTEGUAZA | | ORTEGUAZA |
| | EOCENO | TIYUYA CU | | CONGL. INFERIOR TIYUYA CU |
| | PALEOCENO | TENA | | BASE CONGL. INFERIOR TENA ARENISCA BASAL TENA |
| ■ | TARDIO | NAPO | | NAPO |
| | | | | CALIZA "M1" |
| | | | | CALIZA "M2" |
| | TEMPRANO | | | CALIZA "A" |
| | | | | ARENISCA "U" SUPERIOR |
| | | | | ARENISCA "U" MEDIO |
| | | | | ARENISCA "U" INFERIOR |
| | | | | BASE "U" INFERIOR |
| | | | | CALIZA "B" |
| | | | | ARENISCA "T" SUPERIOR |
| | ARENISCA "T" INFERIOR | | | |
| | BASE "T" INFERIOR | | | |
| | CALIZA "C" | | | |
| | HOLLIN | | HOLLIN SUPERIOR | |
| | | | PRE-K | |

FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.2.1.4 Características de la roca y del fluido

Las características de la roca y del fluido, están representadas por valores conseguidos de análisis de núcleos y pruebas de presión, estos datos son indicativos de la presencia de hidrocarburo en la formación, y en qué relación se encuentra distribuida con otros fluidos dentro del reservorio. La tabla 2.1, muestra estos datos.

El campo Cuyabeno, produce de la arena U un crudo de 26° API y de la arena T de 29° API, este varía dependiendo al contenido de azufre.

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO CUYABENO

| PARÁMETROS | Us | Um | Ui | Ts | Ti |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Presión de reservorio, Pr [psi] | 3243 | 3270 | 3270 | 3388 | 3388 |
| Presión actual, [psi] | 2800 | 2800 | 2800 | 3000 | 3000 |
| Presión de burbuja, Pb [psi] | 570 | 690 | 690 | 1005 | 1005 |
| Factor de recobro, [%] | 24.7 | 23 | 24 | 32 | 25 |
| Gravedad específica del petróleo [°API] | 24.5 | 27.3 | 27.3 | 29.4 | 29.4 |
| Saturación de agua inicial, Swi [%] | 32.8 | 22.2 | 22.2 | 25.3 | 44.9 |
| Porosidad, ϕ [%] | 17 | 19 | 19 | 17 | 17 |
| Permeabilidad, K, [md] | 451 | 233 | 233 | 235 | 250 |
| Factor volumétrico de petróleo, β_{oi} [bls/BF] | 1.158 | 1.186 | 1.186 | 1.219 | 1.219 |
| Temperatura de yacimiento, [°F] | 194 | 203 | 203 | 205 | 205 |
| Viscosidad de petróleo, μ_o @ T.F. [cp] | 3.5 | 3.22 | 3.22 | 1.58 | 1.58 |
| Relación gas petróleo, GOR [PCS/BF] | 155 | 185 | 185 | 357 | 357 |

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO Walter Haro.

2.2.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO V.H.R.

El campo V.H.R. está ubicado en el Nororiente del país, provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio, entre los ríos San Miguel y Putumayo.

2.2.2.1 Estratigrafía

El campo V.H.R. tiene una estratigrafía que está constituida por rocas que van en edad desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario, representadas por las siguientes formaciones.

2.2.2.1.1 Basamento Cristalino (Pre- Cámbrico)

Pertenece al paleoalto estructural que separa la subcuenca Putumayo de la subcuenca Napo, se encuentra a una profundidad promedio a nivel de campo de 8250 pies.

2.2.2.1.2 Formación Hollin

La formación Hollin tiene un espesor promedio de 51 pies, se presenta como una arenisca de cuarzo hialino, friable, grano medio a grueso, mal clasificada con presencia de glauconita y no presenta indicios de hidrocarburos.

2.2.2.1.3 Formación Napo

Esta formación yace concordante sobre la formación Hollin y está constituida por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas en parte variables con una potencia promedio de 765 pies. En esta formación se encuentran las mejores zonas productoras de petróleo como la Arenisca "T", "U" y "M-2".

2.2.2.1.4 Formación Tena

Esta formación tiene un espesor promedio de 342 pies con ambiente marino somero a continental, yace discordante sobre la formación Napo, litológicamente está compuesta por arcillas y limolitas de color rojo moteada con blanco.

2.2.2.1.5 Formación Tiyuyacu

La formación Tiyuyacu, presenta un espesor promedio de 1690 pies, ambiente continental y descansa concordante sobre la formación Tena, se puede dividir en tres miembros, presentando un conglomerado de tope, medio y basal con presencia de chert multicolor e intercalaciones de arcillas y limolitas de color rojo a café chocolate.

2.2.2.1.6 Formación Orteguaza

Presenta un espesor promedio de 645 pies y está constituida por lutitas de color gris-verdosas con intercalaciones de arcillolitas y areniscas de coloración verdosa con grano fino.

Sobre la Formación Orteguaza se depositaron sedimentos del Mio-Plioceno Indiferenciado y del Cuaternario compuesto de arcillas de color rojo y rojo ladrillo con un espesor promedio de 4760 pies.

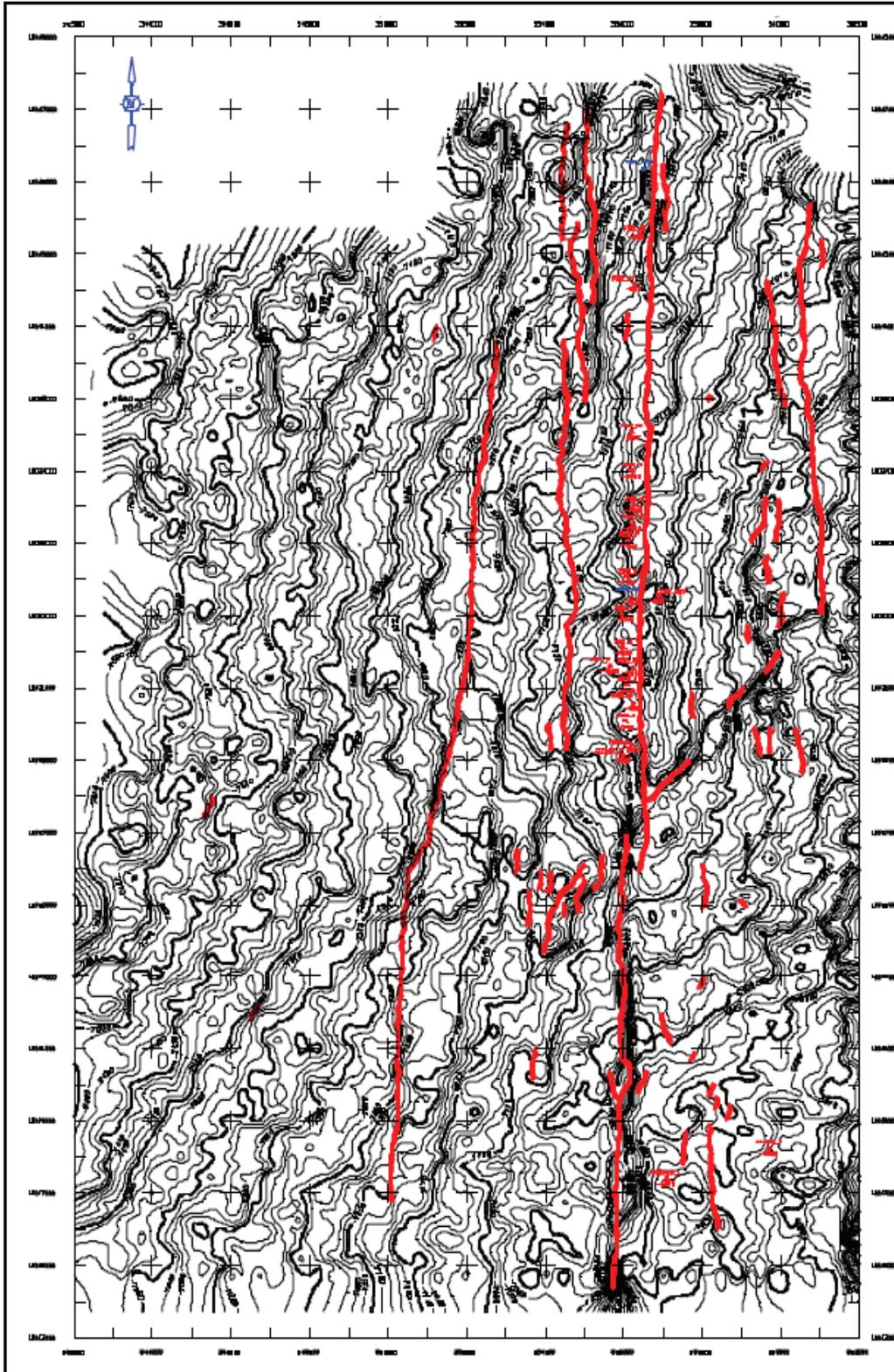
2.2.2.2 Estructura

El campo V.H.R. es un anticlinal fallado, en dirección norte-sur, con una extensión de 15 Km de largo por 4 Km de ancho aproximadamente, está controlado por una falla inversa al este que presenta un salto aproximadamente 130 pies, la estructura cierra contra esta, probando así la impermeabilidad de la falla

Dentro del anticlinal se encuentran dos pequeños altos estructurales a la base de la caliza "A", el primero está localizado entre los pozos Lilian-01 y V.H.R.-06, teniendo al pozo V.H.R.-02 (-7020') en su parte más alta y el segundo entre V.H.R.-06 y V.H.R.-10 siendo el pozo V.H.R.-08 (-7018') su punto más alto.

La figura 2.4, muestra el mapa estructural del campo VHR a profundidad a la base de la caliza A.

**FIGURA 2.4 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO VHR, PROFUNDIDAD
BASE CALIZA "A"**



FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.2.2.3 Descripción de los principales yacimientos

El campo V.H.R. tiene, 7 niveles de interés, probándose seis niveles en el pozo exploratorio V.H.R.-01 resultando productores: "T" Principal, "T" Secundaria, "U" Inferior, "U" Media, "U" Superior, "M2" y arenisca Tena Basal. La figura 2.5, muestra la columna estratigráfica del campo VHR.

2.2.2.3.1 Arenisca T inferior

Es un yacimiento con un espesor arenoso promedio de 40 pies, con presencia de contacto agua petróleo a -7277 pies y tiene las siguientes características petrofísicas promedios: $h_o = 15'$, $\Phi = 14\%$ y $Sw = 30\%$.

2.2.2.3.2 Arenisca T superior

Este yacimiento no presenta contacto agua-petróleo y cuenta con las siguientes características petrofísicas promedios: $h_o = 6'$, $\Phi = 14\%$ y $Sw = 44\%$.

2.2.2.3.3 Arenisca U inferior

Es el yacimiento mejor desarrollado con un espesor arenoso bruto promedio de 70 pies, el contacto agua petróleo está a -7147 pies y presenta las siguientes características petrofísicas: $h_o = 45'$, $\Phi = 15.7\%$ y $Sw = 28\%$.

2.2.2.3.4 Arenisca U media

El yacimiento no presenta contacto agua-petróleo por tal motivo para el cálculo de reservas se utilizó el límite inferior de la arena (-7119 pies), con las siguientes características petrofísicas: $h_o = 8'$, $\Phi = 15.7\%$ y $Sw = 25\%$.

2.2.2.3.5 Arenisca U superior

Este yacimiento tiene un espesor promedio de 20 pies, el contacto agua petróleo está a -7077 pies en la parte sur de la estructura y cuenta con las siguientes características petrofísicas: $h_o = 16'$, $\Phi = 15.9\%$ y $Sw = 22\%$. En la parte norte, en el pozo VHR-14 el reservorio cuenta con petróleo de menor calidad que el

correspondiente a la parte sur con un $h_o = 12'$, $\Phi = 18.5\%$ y $Sw = 43\%$, para el cálculo de reservas se utilizó el límite inferior de la arena.

2.2.2.3.6 Arenisca "M2"

Este yacimiento tiene un espesor arenoso total promedio de 24 pies, sus características litológicas son: arenisca de cuarzo, gris verdosa, mala selección, presencia de glauconita y cemento calcáreo, factores de incidencia para determinar el contacto agua-petróleo, el mismo que fue determinado a nivel de campo a -6932 pies y tiene las siguientes características petrofísicas: $h_o = 11.5'$, $\Phi = 13.2\%$ y $Sw = 50\%$.

2.2.2.3.7 Arenisca Basal Tena

El yacimiento tiene un espesor promedio arenoso de 20 pies, la zona productora se encuentra localizada entre los pozos V.H.R.-03 y V.H.R.-09, estos dos pozos son los límites del yacimiento, presentan un cambio de facie arenosa a limosa. El reservorio Basal Tena, tiene el contacto agua-petróleo a -6554 pies, presenta las siguientes propiedades petrofísicas: $h_o = 8'$, $\Phi = 15.5\%$ y $Sw = 37.06\%$.

2.2.2.4 Características de la roca y fluido

En la tabla 2.2, se observa las propiedades de los reservorios Basal Tena, "M2", "Us", "Um", "Ui" y "T", son las arenas que aportan a la producción.

TABLA 2.2 CARACTERISTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO VHR

| PARÁMETROS | BT | M2 | Us | Um | Ui | T |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Presión inicial, Pr [psi] | 3150 | 3190 | 3250 | 3280 | 3340 | 3400 |
| Presión saturación, [psi] | 700 | 480 | 780 | 850 | 800 | 280 |
| Factor de recobro, [%] | 20 | 20 | 29 | 20 | 28 | 20 |
| Gravedad específica del petróleo [$^{\circ}$ API] | 20 | 29.2 | 32 | 30 | 32 | 31 |
| Saturación de agua inicial, Swi [%] | 37 | 50 | 22 | 25 | 28 | 30 |
| Porosidad, ϕ [%] | 15.5 | 13.2 | 15.9 | 15.7 | 15.7 | 14 |
| Permeabilidad, K, [md] | 889 | 137 | 1468 | 592 | 1048 | 77 |
| Temperatura de yacimiento, [$^{\circ}$ F] | 196 | 197 | 198 | 198 | 198 | 199 |
| Viscosidad de petróleo, μ_o @ T.F. [cp] | 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.8 |
| Relación gas petróleo, GOR [PCS/BF] | 180 | 100 | 210 | 260 | 230 | 50 |

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: Walter Haro.

FIGURA 2.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO V.H.R

| CRONO-ESTRATIGRAFIA | | FORMACION | LITOLOGIA | MIEMBRO |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|---|
| NEOGENO | PLIOCENO | | | |
| | MIOCENO | CHALCANA | | CHALCANA SUPERIOR CHALCANA INFERIOR |
| PALEOGENO | OLIGOCENO | ORTEGUAZA | | ORTEGUAZA |
| | EOCENO | TIYUYACU | | TIYUYACU CONGL. SUPERIOR BASE CONGL. SUPERIOR CONGL. INFERIOR TIYUYACU |
| | PALEOCENO | TENA | | TENA ARENISCA BASAL TENA |
| CRETACIO | TARDIO | NAPO | | NAPO ARENISCA "M-1" CALIZA "M1" CALIZA "M2" ARENISCA "M2" CALIZA "A" ARENISCA "U" SUPERIOR ARENISCA "U" MEDIO ARENISCA "U" INFERIOR CALIZA "B" ARENISCA "T" SUPERIOR ARENISCA "T" INFERIOR CALIZA "C" |
| | TEMPRANO | | | |
| | | HOLLIN | | HOLLIN SUPERIOR BASAMENTO |

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.3 INFORMACIÓN DE POZOS PERFORADOS EN EL CAMPO

Los registros de perforación de los 16 pozos analizados en el proyecto, contienen los datos necesarios para realizar el análisis de la selección de brocas. El anexo 1 contiene los registros de brocas los pozos involucrados en el estudio, donde se detalla las fechas de perforación y todos los parámetros utilizados.

Para efectuar la metodología de selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, se realiza el análisis de los registros de brocas (bit records) de los pozos perforados con el RIG CPEB 70128 en estos campos.

Los pozos analizados son:

- Campo Cuyabeno
 - CUY 13D
 - CUY 28D
 - CUY 29D
 - CUY 30D
 - CUY 31D
 - CUY 32D
 - CUY 33D
 - CUY 34D
 - CUY 35D
 - CUY 36D
- Campo VHR
 - VHR 12D
 - VHR 18D
 - VHR 19D
 - VHR 21D
 - VHR 22D
 - VHR 24D

El anexo 1, contiene el registro de brocas de los 16 pozos del campo Cuyabeno-VHR, analizados para desarrollar la metodología de selección de brocas.

2.3.1 BIT RECORD O REGISTRO DE BROCAS

Los pozos cuentan con un registro de las brocas utilizadas durante su perforación, el registro muestra información de las brocas y los parámetros de perforación utilizados para cada una. Este registro tiene dos secciones, el encabezado y la sección principal. A continuación, se toma como ejemplo el registro de brocas del pozo CUY-28D para describir un registro de broca y sus partes como indican las tablas 2.3 y 2.4. La tabla 2.3, muestra el encabezado del registro de brocas, ahí podemos encontrar información del pozo como:

- Localización geográfica: Ecuador/Sucumbíos
- Nombre del campo: Cuyabeno
- Coordenadas de ubicación:
 - Latitud 0° 1' 34.612" Norte.
 - Longitud 76° 16' 52.467" Oeste.
- Compañía Operadora: PETROPRODUCCIÓN
- Nombre del pozo: Cuyabeno28D
- RIG: CPBE 70128.
- Fecha inicial: 16-02-2009
- Fecha final: 2-02-2009
- Perfil direccional: Tipo "S"
- Nombres de las compañías contratistas.

La sección principal de un registro de brocas contiene información detallada de cada broca utilizada durante el trabajo realizado en cada corrida y cada uno de los parámetros utilizados en la perforación, así como el tiempo que estuvo operando cada herramienta.

La tabla 2.4, muestra la sección principal de un registro de brocas.

2.3.1.1 Información de la broca

Las características principales y parámetros de las brocas utilizadas durante la perforación de un pozo de petróleo se encuentran en esta sección.

La información de la segunda broca en el pozo CUY 28D es:

- Diámetro de la broca: 12 ¼ [in]
- Tipo de broca: QD605X
- Nomenclatura IADC: M323
- Número de aletas (brocas PDC): 5
- Tamaño de los cortadores: 19 [mm]
- Número y el diámetro de las boquillas: 7x11
- Serie: 7014548.
- Fecha de salida: 18-02-2009

Los parámetros usados para esta broca son:

- Profundidad de salida: 3377 [ft]
- Intervalo perforado: 3062 [ft]
- Tiempo de perforación: 19.83 [hrs]
- Rata de penetración: 154.41 [ft/hr]
- Peso sobre la broca: 1-16 [klbs]
- Velocidad de la rotaria: 60 [rpm]
- Presión de bombas: 3200 [psi]
- Caudal: 860 [gmp]
- Torque 1-7 [lbs/ft]

A continuación, se conceptualiza los parámetros contenidos en la parte principal de los registros de brocas.

2.3.1.2 Torque

Cuando se aplica una fuerza sobre un cuerpo rígido, este realiza un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se conoce como torque, está medido en libras fuerza por pie, [lbs/ft].

2.3.1.3 Peso sobre la broca (WOB)

Para que la perforación se realice y la broca cumpla su función el perforador debe aplicar un peso sobre esta. Conforme la estructura de corte de la broca se desgasta, se requerirá más peso para mantener la tasa de penetración, está medido en kilo-libras, [klbs].

En perforaciones sobre balance se debe reducir el WOB cuando atraviesa formaciones duras para mejorar la capacidad de mantener el hueco vertical.

2.3.1.4 Rata de penetración (ROP)

El ROP, es la velocidad a la que se está desarrollando la perforación, es decir, representa la cantidad de pies perforados en un intervalo de tiempo determinado, si el ROP disminuye significativamente de manera repentina durante la perforación, puede ser una señal de que es oportuno realizar un cambio de broca en caso de que su valor no se encuentra dentro del rango adecuado de operación y también dependerá del modo en que se esté perforando (rotando o deslizando), está medido en pies por hora, [ft/hrs].

La perforación bajo balance mejora dramáticamente el ROP.

2.3.1.5 Velocidad de la rotaria (RPM)

La velocidad de rotación total de la broca es igual a la velocidad de rotación en superficie más la velocidad de rotación del motor en profundidad. No es aconsejable perforar con altas velocidades de rotación en formaciones abrasivas

por que puede presentarse un rápido desgaste en la broca debido a la abrasión, mientras que altas velocidades de rotación en formaciones duras pueden reducir el ROP, porque los cortadores no penetran en la formación para seguir cortándola.

En perforación bajo balance no es necesario disminuir este parámetro para poder mantener la verticalidad del hueco en formaciones duras.

2.3.1.6 Caudal

Es el volumen de fluido de perforación que se utiliza en un intervalo de tiempo determinado. El caudal para limpiar el hoyo es de 30 [gpm] por pulgada, el caudal máximo es de 50 [gpm] por pulgada de diámetro del hoyo.

En perforaciones bajo balance, se minimiza la pérdida de circulación del caudal del fluido de perforación y protege el reservorio de daño a la formación, evita la invasión de fluidos de perforación y el taponamiento mecánico de los poros por arcillas hidratadas.

TABLA 2.3 ENCABEZADO BIT RECORD CUY 28D

| GEOGRAPHIC LOCATION | | OPERATOR | SPUD DATE: | ID DATE: |
|----------------------|--|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Ecuador / Sucumbios | | PETROPRODUCCION | lunes, febrero 16, 2009, 05:40 PM | lunes, marzo 02, 2009, 08:15 AM |
| FIELD / AREA | | WELL | WELL TYPE: | WORK TYPE : |
| CUYABENO | | CUYABENO-28D | Desarrollo | LLAVE EN MANO |
| LATITUDE | | CONTRACTOR / RIG | WELL PROFILE : | HCC OFFER : |
| 0° 1' 34.512" North | | | Direccional "S" | LUMP SUM |
| LONGITUDE | | CPEB 70128 | TARGET FM : | |
| 76° 16' 52.467" West | | | PETROPRODUCCION | Areniscas "U" y "T" |
| | | | DIRECCIONAL CO.: | MUD CO.: |
| | | | Schlumberger | Mi Swaco |

FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 2.4 SECCIÓN PRINCIPAL BIT RECORD CUY 28D

| No | SIZE | MFG | TYPE | IADC | BLADES | CUTTER | NZZLS | SERIAL | DATE OUT | DEPTH OUT | INTERV DRILLED | NET HRS | NET ROP | HRS IADC | ROP IADC | WOB | RPM | | PUMP PRESS | FLOW RATE |
|----|---------|-----|--------|------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|----------------|---------|---------|----------|----------|------|-----|-------|------------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | ROT | TOTAL | | |
| 1 | 12 1/4" | HCC | GT-1 | 117 | TRICONE | ST | 3x16 | 6063335 | 18-Feb-09 | 315 | 315 | 3.45 | 91.30 | 4.43 | 71.11 | 2-10 | 40 | 50 | 220 | 250 |
| 2 | 12 1/4" | HCC | QD605X | M323 | 5 | 19mm | 7x11 | 7014548 | 19-Feb-09 | 3377 | 3062 | 19.83 | 154.41 | 36.47 | 83.96 | 1-16 | 60 | 215 | 3200 | 860 |
| 2R | 12 1/4" | HCC | QD605X | M323 | 5 | 19mm | 7x13 | 7014548 | 21-Feb-09 | 5127 | 1750 | 14.4 | 121.53 | 25.67 | 68.17 | 2-16 | 60 | 215 | 3200 | 870 |

FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

2.6 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS⁴

La selección de las brocas dentro del proceso de planificación de un pozo es fundamental, de esto depende la optimización del tiempo de perforación. A continuación se muestra los elementos de criterio necesarios para seleccionar brocas para perforar el campo Cuyabeno-VHR, basado en el método de Energía Mecánica Específica y en el costo de perforación por pie.

2.6.1 COSTO POR PIE (C)

El criterio para seleccionar una broca normalmente se basa en el costo de perforación por pie, C, este término representa la relación que existe entre los costos de las herramientas como la broca y el taladro, el tiempo de perforación y el intervalo perforado, se determina con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_p)C_E}{H} \quad (2.1)$$

Donde:

C_B = Costo de la broca, [\$/ft].

C_E = Costo del equipo, [\$/hr].

t_p = Tiempo de perforación de la broca, [hr].

t_v = Tiempo de viaje, [hr].

H = Intervalo perforado, [ft].

El tiempo de viaje para cada corrida se calcula con la fórmula 2.2.

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} \quad (2.2)$$

⁴ Información tomada del paper: RABIA HUSSAIN. "Specific Energy as a Criterion for bit selection", SPE paper 12355, Journal of Petroleum Technology, Julio 1985.

2.6.2 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s)

La energía requerida para remover una unidad de volumen de roca se define como energía mecánica específica “ E_s ”, relaciona parámetros de perforación como: peso sobre la broca, velocidad de la rotaria, diámetro de la broca y la rata de perforación. Es determinada por la siguiente ecuación.

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} \quad (2.3)$$

Donde:

WOB = Peso sobre la broca, [klbs].

N = Velocidad de la rotaria, [rpm].

d = Diámetro de la broca, [in].

ROP= Rata de penetración, [ft/hr].

La energía específica, E_s , no es una propiedad intrínseca de la roca porque su valor es altamente dependiente del tipo de broca utilizada en la perforación y del diseño de la misma.

2.6.2.1 Método de energía mecánica específica para la selección de brocas (E_s)

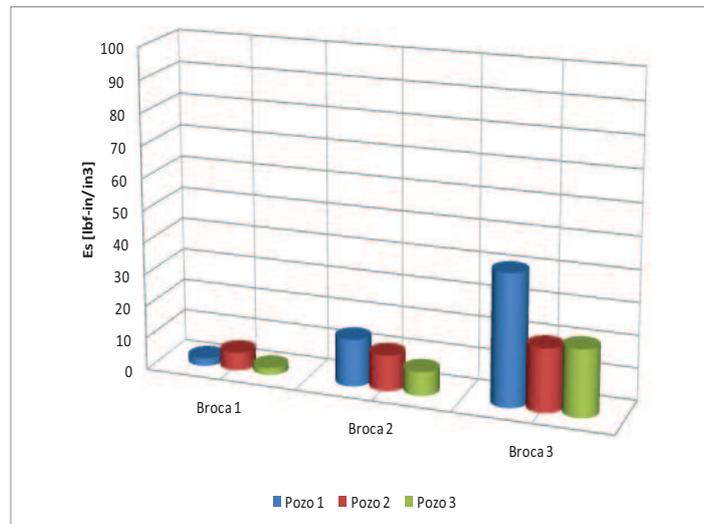
Ordenar la información de los registros de brocas de pozos de correlación, como se muestra en la tabla 2.5, el nombre del pozo, tipo de broca, profundidad de salida, formación, intervalo perforado, tiempo de perforación, ROP, WOB, RPM y finalmente en los últimos dos casilleros realizar el cálculo de la energía mecánica específica (E_s), el tiempo de viaje y el costo por pie (C) para cada intervalo perforado para todas las brocas utilizadas.

Realizar los gráficos de la energía mecánica específica (E_s) vs. Profundidad, como la figura 2.6 y el Costo por pie vs. Profundidad, como la figura 2.7 para identificar el de menor valor. Las figuras 2.6 y 2.7 y la tabla 2.5 son ilustrativas.

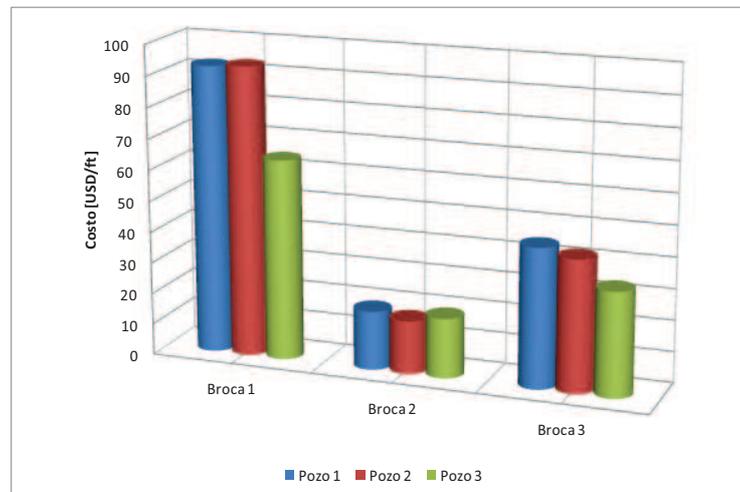
TABLA 2.5 DATOS OBTENIDOS DEL REGISTRO DE BROCAS

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|----------------|------------------------------|
| | | | | | | | | | | |

FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.6 E_s VS PROFUNDIDAD

FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.7 COSTO POR PIE VS PROFUNDIDAD

FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

La broca seleccionada, tricónica o PDC, según este método será la que requiera menor cantidad de energía mecánica específica en una misma formación.

Los criterios de E_s conjuntamente con el costo de perforación por pie son la base para decidir el tipo de broca a ser utilizada.

Por otro lado, se debe determinar el punto en el cual debe ser remplazada la broca que está perforando, el punto exacto para cambiar la broca es cuando la energía mecánica específica de la broca utilizada empieza a aumentar su valor mientras que un diferente tipo de broca mejora su desempeño.

Por ejemplo, la tabla 2.6, muestra valores de energía mecánica específica E_s , para cuatro diferentes tipos de brocas, utilizadas frecuentemente en perforaciones de las distintas formaciones en un campo de Abu Dhabi.

En el primer caso, se puede observar que la broca J22 tiene mayor eficiencia debido a que tiene menor valor de E_s para las formaciones Rus, Umm Er Radhuma y Simsima por tal motivo, es la broca indicada para perforar esta sección de los pozos.

Desde la formación Fiqa hasta la formación Shilaif la broca F2 supera el rendimiento de las brocas J22, J3 y S21 e indica que es el punto exacto para cambiar la broca.

En la última formación Nahr Umr la broca J3 es la que tiene menor valor de E_s entre las cuatro opciones de broca consecuentemente es la que será utilizada para perforar este intervalo del pozo.

En el caso de los campos Cuyabeno y VHR se realiza un análisis de las brocas utilizadas en los pozos analizados, el estudio se efectúa mediante los intervalos a los que fueron programadas la utilización de determinadas brocas y de esta manera seleccionar la mejor, es decir la de menor valor de energía mecánica específica para cada formación del pozo.

TABLA 2.6: EJEMPLO DE SELECCIÓN DE BROCAS

| Formación | Tipo de Broca | Es [in-lbf/in ³] |
|-----------------------------------|---------------|------------------------------|
| Rus | J22 | 211 |
| | F2 | 245 |
| | J3 | 289 |
| | S21 | 360 |
| Umm Er Radhuma | J22 | 153 |
| | F2 | 161 |
| | J3 | 165 |
| | S21 | 154 |
| Simsima | J22 | 184 |
| | F2 | 186 |
| | J3 | 212 |
| | S21 | 197 |
| Fiqa | J22 | 326 |
| | F2 | 275 |
| | J3 | 330 |
| | S21 | 357 |
| Halul/Laffan/Ruwaydha/ Tuwayil | J22 | 336 |
| | F2 | 269 |
| | J3 | 367 |
| | S21 | 491 |
| Shilaif | J22 | 427 |
| | F2 | 415 |
| | J3 | 465 |
| | S21 | 829 |
| Nahr Umr | J22 | 398 |
| | F2 | 345 |
| | J3 | 280 |
| | S21 | 383 |

FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
ELABORADO POR: Walter Haro.

2.7 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE BROCAS PARA EL CAMPO CUYABENO-VHR

El procedimiento para seleccionar las mejores brocas de cada formación para el campo Cuyabeno- VHR, se realiza mediante una hoja de cálculo diseñada con los requerimientos del subcapítulo 2.6.2.1. La energía específica, es calculada con la fórmula 2.3, mientras que el costo de perforación por pie es calculada con la fórmula 2.1, el tiempo de viaje para cada corrida se calcula con la fórmula 2.2. De la tabla 2.8 a la tabla 2.19 y de la figura 2.9 a la figura 2.20 se usa el mismo procedimiento.

Por ejemplo, la tabla 2.9, contiene los datos de las brocas usadas para perforar el Terciario Indiferenciado en el campo Cuyabeno. Está ordenado de izquierda a derecha de la siguiente manera: nombre del pozo, tipo de broca, profundidad de salida, formación perforada, intervalo perforado, tiempo de perforación, rata de penetración, peso sobre la broca, velocidad de la rotaria, costo de la broca, tiempo de viaje, costo de perforación por pie y energía mecánica.

La broca que tiene el menor valor de energía mecánica específica está resaltada de color amarillo, la mejor broca de este grupo es la broca tipo RSR519M del pozo CUY 33D. Perfora el intervalo más grande, en menor tiempo a mayor rata de penetración, a diferencia de pozos como el CUY 13D que usa tres brocas para perforar el mismo intervalo en mayor tiempo.

La figura 2.10, es la representación gráfica de la tabla 2.9, compara las brocas utilizadas para perforar el Terciario Indiferenciado. El eje vertical contiene el valor numérico de los parámetros costo de perforación por pie en color verde y la energía mecánica específica en color azul. El eje horizontal contiene el tipo de broca que se usa para perforar esta formación, la broca con menor valor de energía mecánica específica está encerrada en un cuadro de color amarilla, los cuadros de color rojo encierran a los pozos que usan dos o más brocas para perforar un mismo intervalo.

En el subcapítulo 2.7.1, se realiza un ejemplo del procedimiento de cálculo para comparar brocas y seleccionar la mejor.

2.7.1 EJEMPLO DE CÁLCULO

Para realizar el ejemplo de cálculo, se toma los datos de tres brocas, de tres pozos, que perforan en la sección superficial en las formaciones pertenecientes al terciario indiferenciado, con el propósito de realizar la comparación entre herramientas y seleccionar la broca con mejor desempeño.

Datos de la broca 1.

Pozo: Cuyabeno 32D

Broca N°: 3

Tipo de Broca: DSR519M- IADC M323

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 500 ft.

Profundidad de Salida: 3753 ft.

Tiempo de perforación: 21.3 hrs.

WOB: 12 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 16429 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 3753 - 500 = 3253 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3253}{21.3} = 152.7 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{500}{1000} = 0.5 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{16429 + (0.5 + 21.3) * 1799}{3253} = 17.05 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 12 * 40}{12.25 * 152.7} = 5.1 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

Datos de la broca 2.

Pozo: Cuyabeno 36D

Broca N°: 3

Tipo de Broca: DSX117GJ- IADC M421

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 882 ft.

Profundidad de Salida: 4116 ft.

Tiempo de perforación: 20 hrs.

WOB: 10 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 19167 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 4116 - 882 = 3234 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3234}{20} = 161 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = 2 * \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{882}{1000} = 0.882 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{19167 + (0.882 + 20) * 1799}{3234} = 18 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 10 * 40}{12.25 * 161} = 4.05 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

Datos de la broca 3.

Pozo: Cuyabeno 33D

Broca N°: 2

Tipo de Broca: RSR519M- IADC M323

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 415 ft.

Profundidad de Salida: 4299 ft.

Tiempo de perforación: 14 hrs.

WOB: 12 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 28750 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 4299 - 415 = 3884 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3884}{14} = 284 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{415}{1000} = 0.415 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{28750 + (0.415 + 14) * 1799}{3884} = 14 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 12 * 40}{12.25 * 284} = 2.759 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

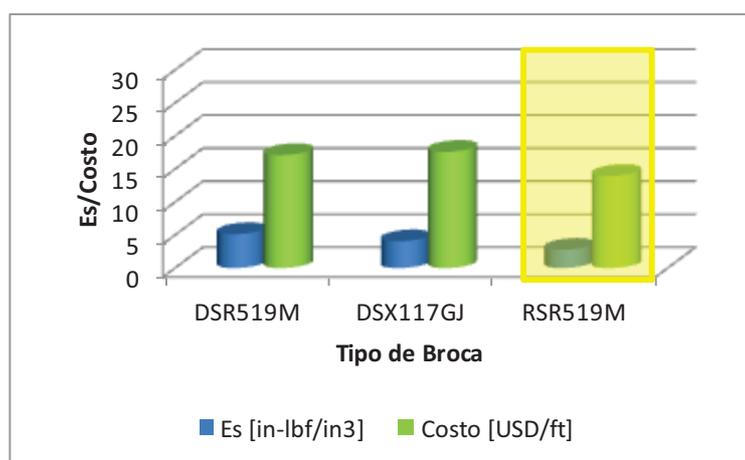
Calculados estos parámetros, procedemos con la interpretación de resultados, elaborando la tabla comparativa y los gráficos de E_s y costo por pie, para determinar la broca que tiene el menor valor de energía mecánica específica.

La tabla 2.7 y la figura 2.8, contienen los datos de las tres brocas del ejemplo.

TABLA 2.7: COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL

| Formación | Tipo de Broca | Es [in-lb/in ³] |
|-----------|---------------|-----------------------------|
| TID | DSR519M | 5 |
| | DSX117GJ | 4 |
| | RSR519M | 3 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.8 COMPARACIÓN GRÁFICA SECCIÓN SUPERFICIAL

ELABORADO POR: Walter Haro

La broca tipo RSR519M, tiene el mejor desempeño en la perforación de las formaciones pertenecientes al terciario indiferenciado, en la figura 2.8, se observa que esta broca tiene el menor valor tanto de energía mecánica específica como de costo por pie perforado.

El anexo 2, muestra las tablas con los datos y cálculos efectuados por pozo, del método de selección de brocas mediante la energía mecánica específica.

En el segundo casillero de las tablas se nombra el tipo de brocas utilizadas, este tiene una nomenclatura del tipo alfanumérico, para el caso de las brocas de la compañía Baker Hughes en brocas tricónicas, las de dientes de acero tienen un número.

Para brocas con dientes de acero la forma de la nomenclatura es GT- C X G, de donde:

GT= Línea del producto.

C= Características hidráulicas (con jet central).

X= Tipo de cortadores.

G= Tipo de formación.

Por ejemplo la broca tipo GT-09H.

GT= Línea del producto.

09= Formación dura.

H= Calibre aumentado (enhanced gauge).

Para las brocas PDC se utiliza un sistema alfanumérico para diferenciar cada tipo de producto. La forma de nomenclatura es HC R/M/D X YY S Z, de donde:

HC= Línea de producto.

R/M/D= Tipo de tecnología direccional Rotor/Motor/Direccional.

X= Tamaño de los cortadores.

YY= Número de aletas.

S=Material del cuerpo de la broca

Z= Altura de los cortadores.

Por ejemplo la broca tipo HCM506Z.

HC= Línea de producto "Genesis".

M= Motor direccional.

5= 5/8 [in] cortadores de 16 mm.

06= 6 aletas.

Z= cenit cortadores.

Las brocas tricónicas y PDC de la compañía NOV también cuentan con nomenclatura alfanumérica para distinguir sus productos.

Las bocas tricónicas tienen nomenclatura de la forma T XX, de donde:

T= Línea del producto
XX= Tipo de formación

Por ejemplo la broca tipo T11.

T= Línea de producto "Titan".
11= Formaciones suaves.

Para las brocas PDC la forma de la nomenclatura es RS R X YY Z, de donde:

RS= Tipo de tecnología direccional Rotor/Motor.

R= Tipo de cortador.

X= Número de aletas.

YY= Diámetro de los cortadores.

Z= Material del cuerpo de la broca.

Por ejemplo la broca tipo RSR519M.

RS= Rotor direccional.

R= Cortadores de tecnología Raptor.

5= Cinco aletas.

19= Cortadores de 19 mm.

M= El cuerpo de la broca es de matriz.

Como se explica en el capítulo 1, el código IADC para brocas de perforación describe las características de cada broca sin importar la compañía a la que pertenezcan.

El anexo 6 contiene las variables de la nomenclatura de cada broca.

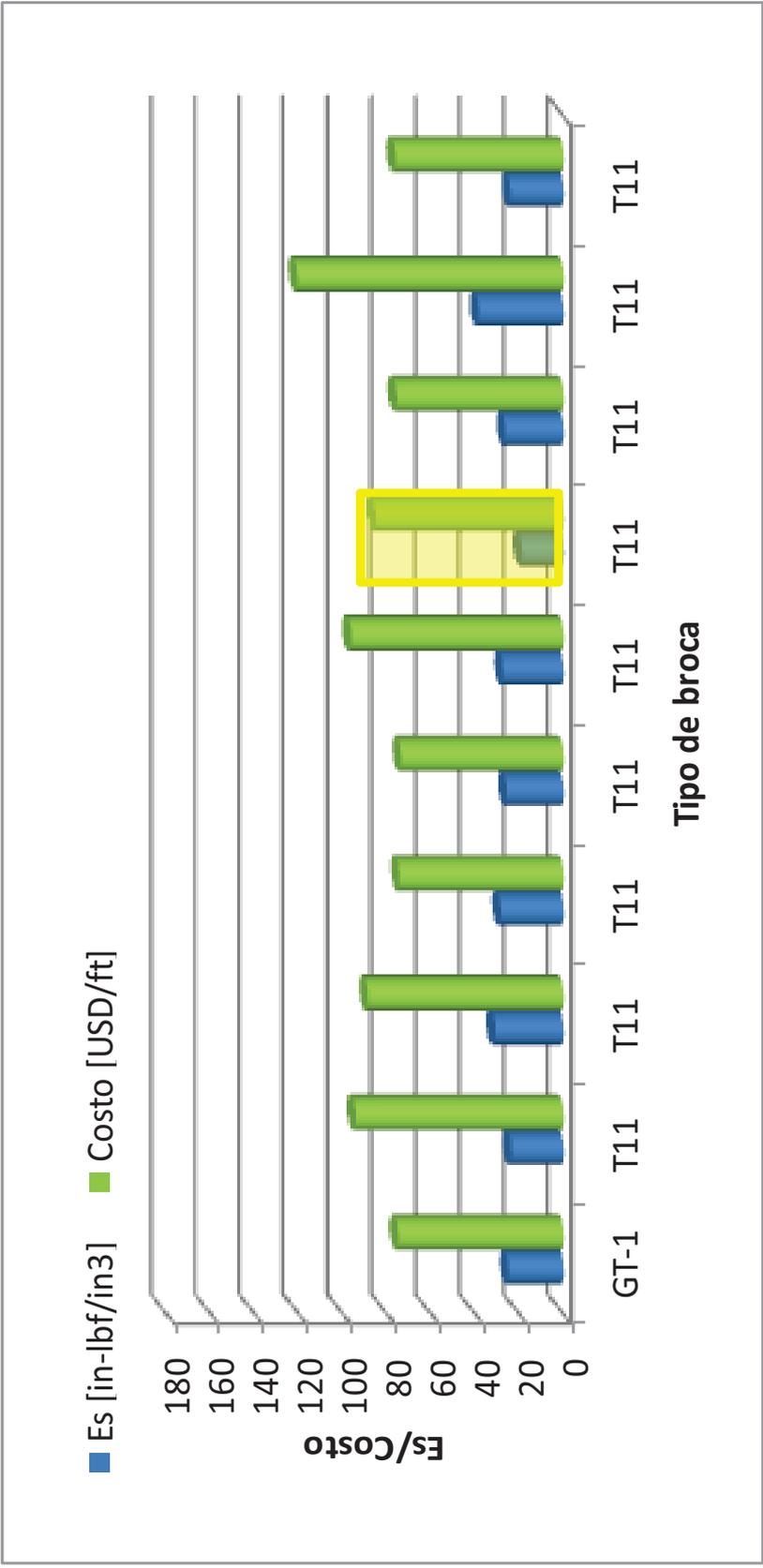
2.7.2 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN PARA EL CAMPO CUYABENO

TABLA 2.8: BROCA #1, HUECO 16” PRIMERA SECCIÓN

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| CUY 28D | GT-1 | 315 | TID | 315 | 3 | 91 | 15 | 80 | 16,429 | 0.00 | 75 | 25 |
| CUY 13D | T11 | 330 | TID | 284 | 6 | 50 | 12 | 60 | 16,429 | 0.05 | 94 | 24 |
| CUY 34D | T11 | 334 | TID | 290 | 5 | 57 | 12 | 90 | 16,429 | 0.04 | 89 | 31 |
| CUY 35D | T11 | 372 | TID | 372 | 6 | 60 | 13 | 80 | 16,429 | 0.00 | 74 | 29 |
| CUY 29D | T11 | 367 | TID | 367 | 6 | 62 | 14 | 70 | 16,429 | 0.00 | 74 | 26 |
| CUY 31D | T11 | 407 | TID | 360 | 10 | 36 | 10 | 60 | 16,429 | 0.05 | 96 | 27 |
| CUY 30D | T11 | 326 | TID | 326 | 6 | 52 | 10 | 60 | 16,429 | 0.00 | 85 | 19 |
| CUY 32D | T11 | 410 | TID | 363 | 6 | 60 | 16 | 60 | 16,429 | 0.05 | 76 | 26 |
| CUY 36D | T11 | 288 | TID | 244 | 7 | 34 | 10 | 80 | 16,429 | 0.04 | 121 | 39 |
| CUY 33D | T11 | 415 | TID | 370 | 7 | 57 | 14 | 60 | 16,429 | 0.05 | 76 | 24 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.9 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN



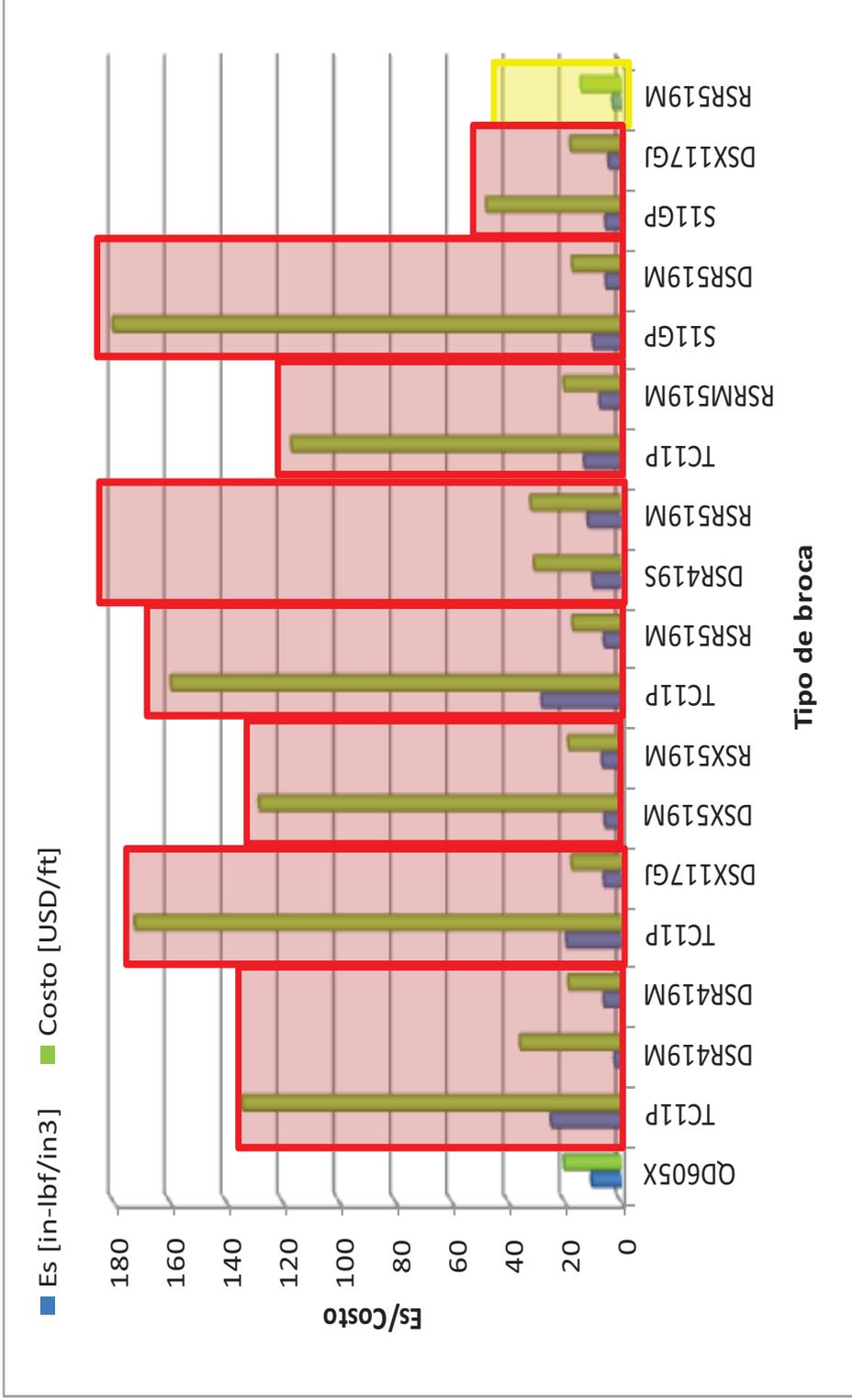
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.9: BROCA #2, HUECO 12.25” SECCIÓN SUPERFICIAL

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| CUY 28D | QD605X | 3,377 | TID | 3,062 | 20 | 154 | 16 | 60 | 24,870 | 0.32 | 20 | 10 |
| | TC11P | 500 | TID | 170 | 3 | 53 | 16 | 50 | 16,429 | 0.33 | 134 | 25 |
| CUY 13D | DSR419M | 1,291 | TID | 791 | 6 | 132 | 4 | 40 | 16,429 | 0.50 | 36 | 2 |
| | DSR419M | 4,026 | TID | 2,735 | 18 | 156 | 14 | 40 | 16,429 | 1.29 | 18 | 6 |
| CUY 34D | TC11P | 500 | TID | 166 | 5 | 34 | 10 | 40 | 19,167 | 0.33 | 172 | 19 |
| | DSX117GJ | 4,030 | TID | 3,530 | 23 | 153 | 14 | 40 | 19,167 | 0.50 | 17 | 6 |
| CUY 35D | DSX519M | 600 | TID | 228 | 5 | 44 | 5 | 30 | 19,167 | 0.37 | 128 | 6 |
| | RSX519M | 3,191 | TID | 2,591 | 15 | 169 | 17 | 40 | 19,167 | 0.60 | 18 | 7 |
| CUY 29D | TC11P | 550 | TID | 183 | 5 | 35 | 10 | 60 | 19,167 | 0.37 | 159 | 28 |
| | RSR519M | 3,710 | TID | 3,160 | 18 | 172 | 10 | 60 | 19,167 | 0.55 | 17 | 6 |
| CUY 31D | DSR419S | 2,026 | TID | 1,378 | 14 | 101 | 10 | 60 | 16,429 | 0.65 | 31 | 10 |
| | RSR519M | 3,901 | TID | 1,875 | 22 | 86 | 10 | 60 | 16,429 | 2.03 | 32 | 11 |
| CUY 30D | TC11P | 518 | TID | 192 | 3 | 64 | 10 | 50 | 16,429 | 0.33 | 117 | 13 |
| | RSR519M | 3,185 | TID | 2,667 | 20 | 134 | 10 | 60 | 16,429 | 0.52 | 20 | 7 |
| CUY 32D | S11GP | 500 | TID | 90 | 1 | 82 | 12 | 40 | 16,429 | 0.41 | 213 | 10 |
| | DSR519M | 3,753 | TID | 3,253 | 21 | 153 | 12 | 40 | 16,429 | 0.50 | 17 | 5 |
| CUY 36D | S11GP | 882 | TID | 594 | 5 | 126 | 10 | 40 | 19,167 | 0.29 | 47 | 5 |
| | DSX117GJ | 4,116 | TID | 3,234 | 20 | 161 | 10 | 40 | 19,167 | 0.88 | 18 | 4 |
| CUY 33D | RSR519M | 4,299 | TID | 3,884 | 14 | 284 | 12 | 40 | 28,750 | 0.42 | 14 | 3 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.10 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL



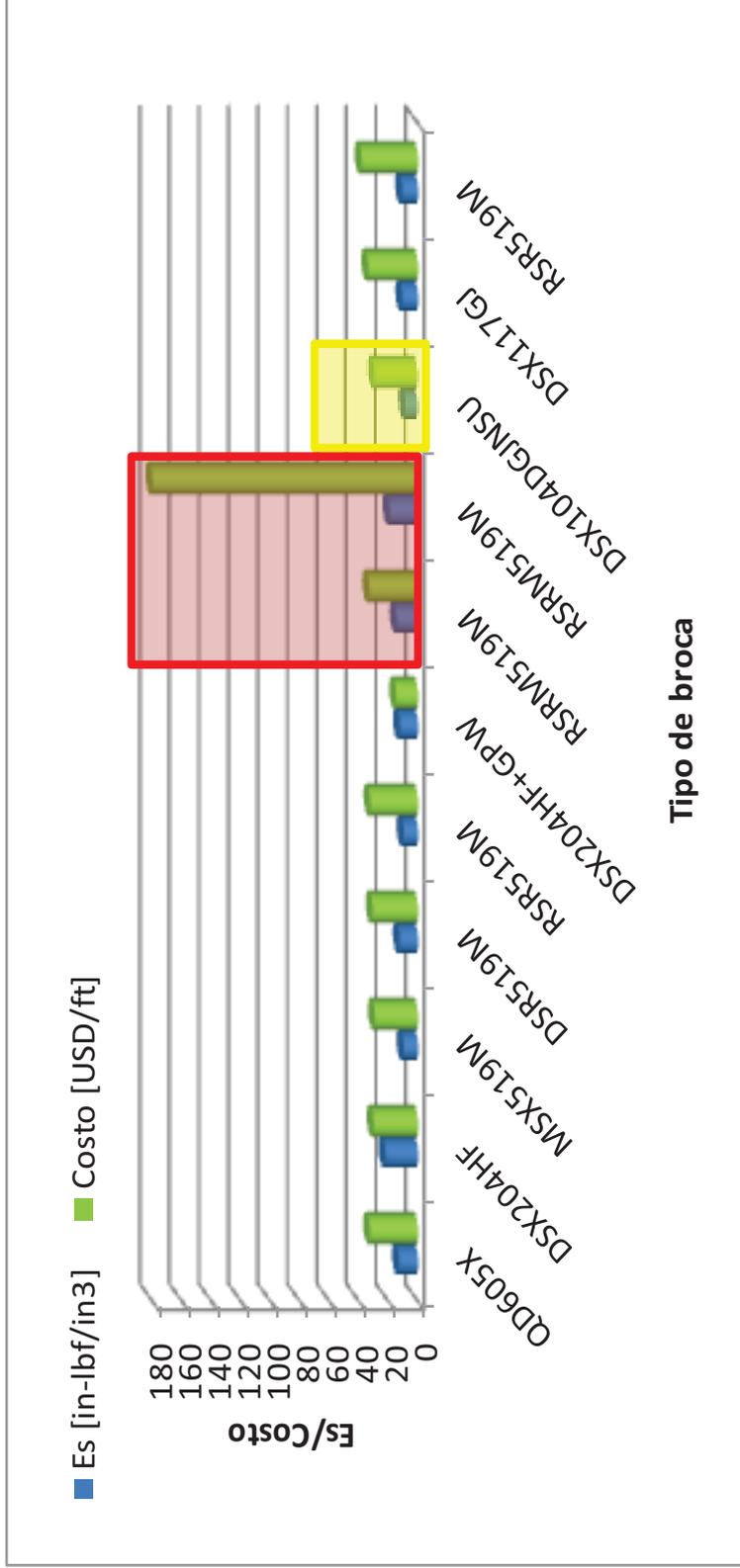
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.10: BROCA #3, HUECO 12.25’’ FORMACIÓN ORTEGUAZA

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca de Viaje [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|----------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| CUY 28D | QD605X | 5,127 | TID/ORT | 1,750 | 14 | 122 | 16 | 60 | 24,870 | 3.38 | 32 | 13 |
| CUY 13D | DSX204HF | 5,623 | TID/ORT | 1,597 | 14 | 118 | 20 | 80 | 16,429 | 4.03 | 30 | 22 |
| CUY 34D | MSX519M | 5,600 | TID/ORT | 1,570 | 11 | 145 | 22 | 40 | 19,167 | 4.03 | 29 | 10 |
| CUY 35D | DSR519M | 5,515 | TID/ORT | 2,324 | 26 | 90 | 17 | 40 | 19,167 | 3.19 | 31 | 12 |
| CUY 29D | RSR519M | 5,530 | TID/ORT | 1,820 | 18 | 100 | 10 | 60 | 19,167 | 3.71 | 32 | 10 |
| CUY 31D | DSX204HF+GPW | 5,505 | TID/ORT | 4,857 | 30 | 53 | 24 | 50 | 16,429 | 1 | 15 | 12 |
| CUY 30D | RSR519M | 5,239 | TID/ORT | 2,054 | 25 | 81 | 12 | 60 | 16,429 | 3.19 | 33 | 15 |
| | RSR519M | 5,272 | Acondicionamiento | 33 | 1 | 51 | 10 | 60 | 16,429 | 5.24 | 819 | 19 |
| CUY 32D | DSX104DG-JNSU | 5,928 | TID/ORT | 2,175 | 22 | 99 | 12 | 40 | 16,429 | 3.75 | 29 | 8 |
| CUY 36D | DSX117GJ | 5,641 | TID/ORT | 1,525 | 14 | 111 | 18 | 40 | 19,167 | 4.12 | 34 | 11 |
| CUY 33D | RSR519M | 6,268 | TID/ORT/TIY | 1,969 | 22 | 91 | 12 | 50 | 28,750 | 4.30 | 38 | 11 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.11 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA



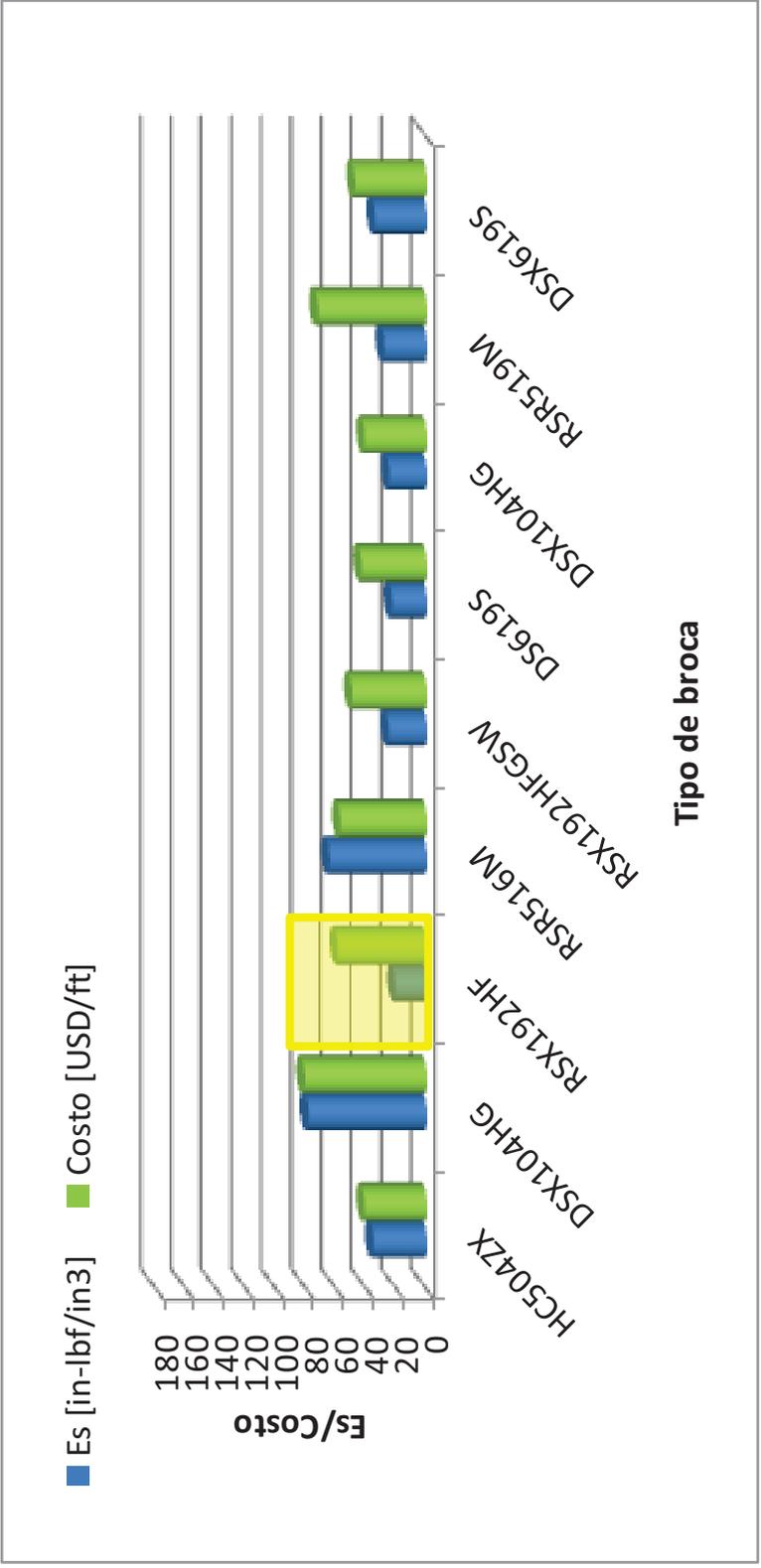
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.11: BROCA #4, HUECO 12.25” TOPE FORMACIÓN TIYUYACU

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/m ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| CUY 28D | HC504ZX | 6,713 | ORT/TIY | 1,586 | 18 | 90 | 17 | 80 | 24,870 | 5.13 | 41 | 36 |
| CUY 13D | DSX104HG | 6,474 | ORT/TIY | 851 | 24 | 36 | 20 | 60 | 16,429 | 5.62 | 82 | 79 |
| CUY 34D | RSX192HF | 6,412 | ORT/TIY | 812 | 10 | 80 | 14 | 50 | 19,167 | 5.60 | 59 | 21 |
| CUY 35D | RSR516M | 6,608 | ORT/TIY | 1,093 | 19 | 58 | 20 | 80 | 19,167 | 5.52 | 58 | 65 |
| CUY 29D | RSX192HFGSW | 6,620 | ORT/TIY | 1,090 | 14 | 78 | 14 | 60 | 19,167 | 5.53 | 50 | 25 |
| CUY 31D | DS619S | 6,683 | ORT/TIY | 1,178 | 14 | 85 | 14 | 60 | 16,429 | 5.51 | 44 | 23 |
| CUY 30D | DSX104HG | 6,660 | ORT/TIY | 1,388 | 18 | 79 | 14 | 60 | 16,429 | 5.27 | 41 | 25 |
| CUY 32D | RSR519M | 6,924 | ORT/TIY | 996 | 25 | 40 | 12 | 40 | 16,429 | 5.93 | 73 | 28 |
| CUY 36D | DSX619S | 6,720 | ORT/TIY | 1,079 | 13 | 86 | 18 | 70 | 19,167 | 5.64 | 48 | 35 |
| CUY 33D | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.12 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU



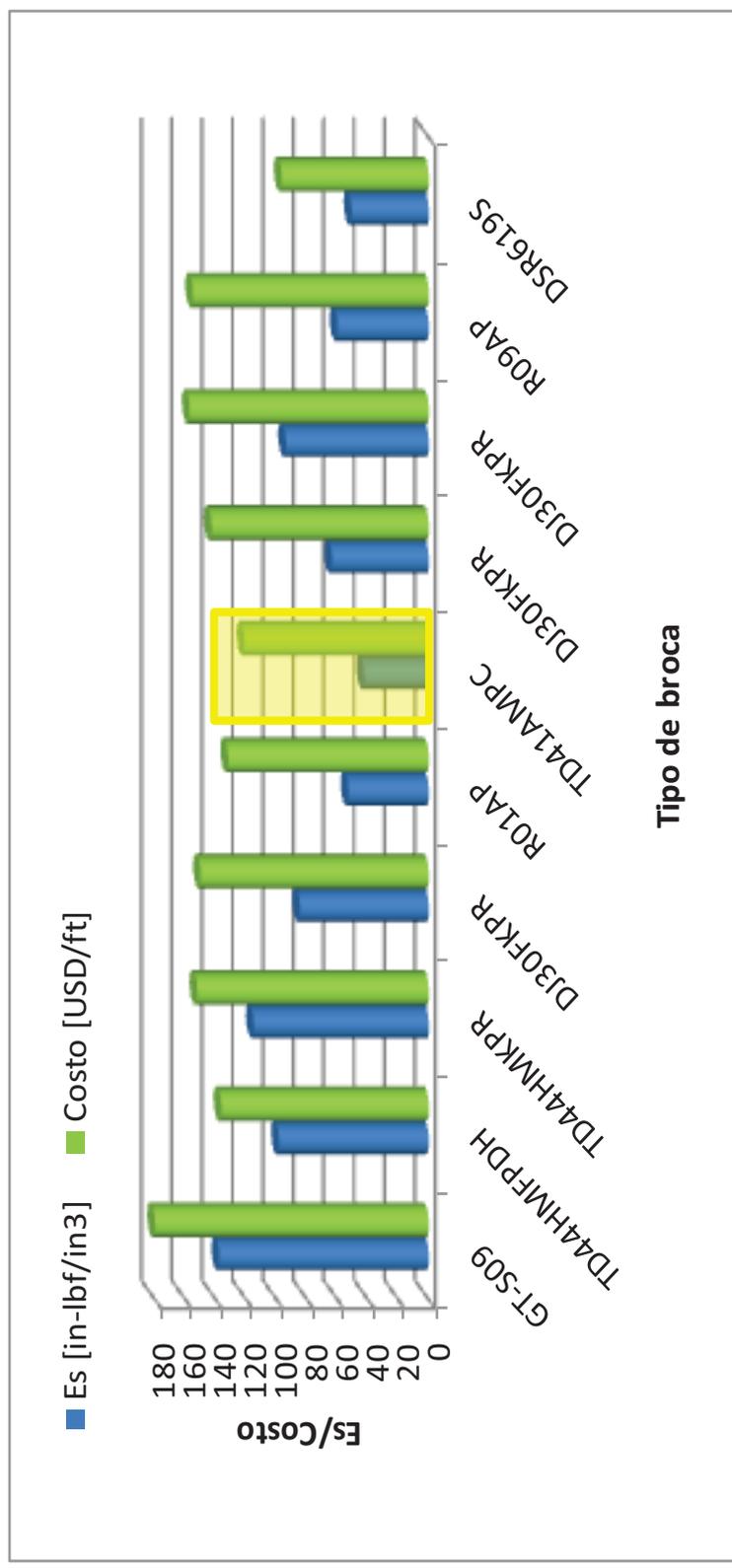
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.12: BROCA #5, HUECO 8.5” FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/m ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| CUY 28D | GT-S09 | 7,055 | TIY | 342 | 14 | 24 | 20 | 70 | 24,870 | 6.71 | 183 | 138 |
| CUY 13D | TD44HMFDPH | 6,800 | TIY | 326 | 9 | 36 | 30 | 50 | 16,429 | 6.47 | 136 | 99 |
| CUY 34D | TD44HMKPR | 6,740 | TIY | 328 | 11 | 31 | 30 | 50 | 19,167 | 6.41 | 152 | 115 |
| CUY 35D | DJ30FKPR | 6,932 | TIY | 324 | 10 | 33 | 30 | 40 | 19,167 | 6.61 | 150 | 85 |
| CUY 29D | R01AP | 6,981 | TIY | 361 | 9 | 39 | 22 | 40 | 19,167 | 6.62 | 132 | 53 |
| CUY 31D | TD41AMPC | 7,036 | TIY | 353 | 8 | 44 | 20 | 40 | 16,429 | 6.68 | 121 | 42 |
| CUY 30D | DJ30FKPR | 6,985 | TIY | 325 | 10 | 33 | 22 | 40 | 16,429 | 6.66 | 143 | 64 |
| CUY 32D | DJ30FKPR | 7,252 | TIY | 328 | 13 | 26 | 26 | 40 | 16,429 | 6.92 | 157 | 94 |
| CUY 36D | R09AP | 7,040 | TIY | 320 | 10 | 31 | 20 | 40 | 19,167 | 6.72 | 155 | 60 |
| CUY 33D | DSR619S | 7,380 | TIY | 1,112 | 38 | 30 | 16 | 40 | 28,750 | 6.27 | 97 | 51 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.13 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU



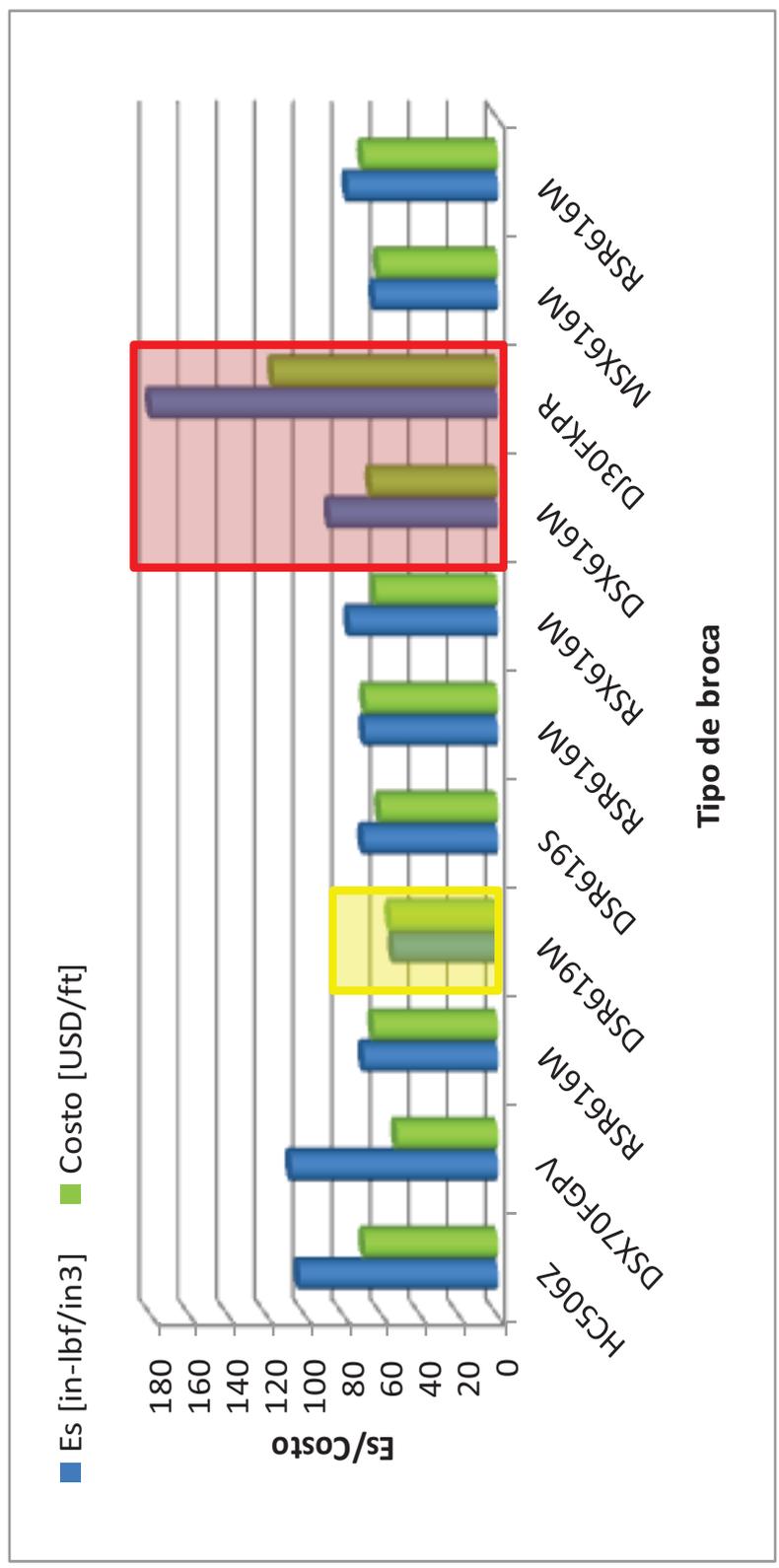
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.13: BROCA #6, HUECO 8.5'' FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-PRC

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| CUY 28D | HC506Z | 8,587 | TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,532 | 38 | 40 | 22 | 80 | 24,870 | 7.06 | 69 | 103 |
| CUY 13D | DSX70FGPV | 8,378 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,578 | 30 | 53 | 30 | 80 | 16,429 | 6.80 | 52 | 107 |
| CUY 34D | RSR616M | 8,295 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,555 | 38 | 41 | 24 | 50 | 19,167 | 6.74 | 64 | 70 |
| CUY 35D | DSR619M | 8,430 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,498 | 29 | 52 | 20 | 60 | 19,167 | 6.93 | 56 | 54 |
| CUY 29D | DSR619S | 8,526 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,545 | 35 | 45 | 22 | 60 | 19,167 | 6.98 | 61 | 70 |
| CUY 31D | RSR616M | 8,510 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,474 | 40 | 37 | 18 | 60 | 16,429 | 7.04 | 69 | 69 |
| CUY 30D | RSX616M | 8,525 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,540 | 38 | 40 | 22 | 60 | 16,429 | 6.99 | 63 | 77 |
| CUY 32D | DSX616M | 8,772 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,520 | 39 | 39 | 16 | 90 | 16,429 | 7.25 | 66 | 87 |
| | DJ30FKPR | 8,800 | PR-C | 28 | 7 | 4 | 30 | 40 | 16,429 | 8.77 | 117 | 686 |
| CUY 36D | MSX616M | 8,570 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,530 | 35 | 44 | 20 | 60 | 19,167 | 7.04 | 62 | 64 |
| CUY 33D | RSR616M | 8,850 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,470 | 34 | 43 | 24 | 60 | 28,750 | 7.38 | 70 | 78 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.14 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-PRC



ELABORADO POR: Walter Haro

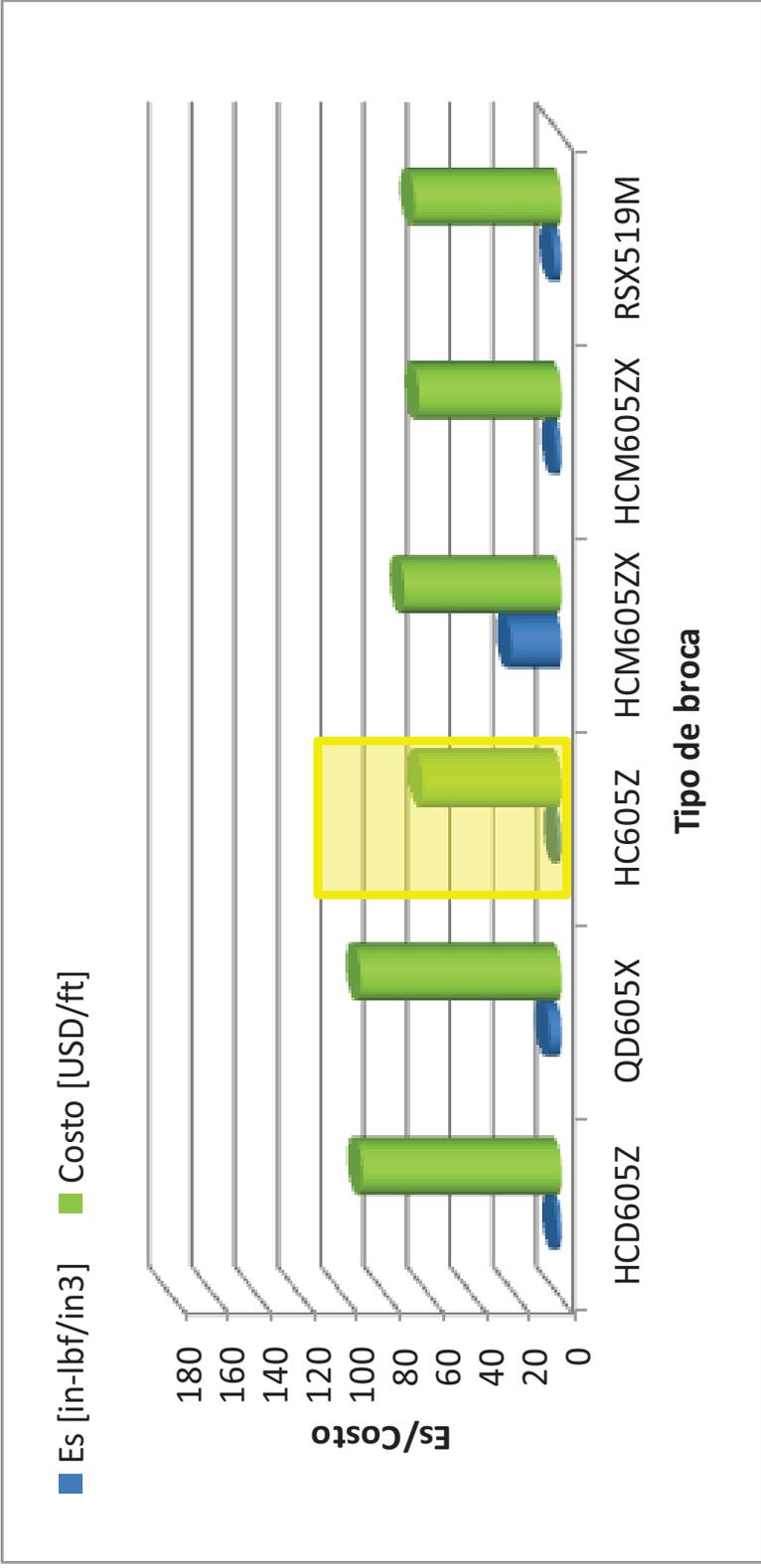
2.7.3 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN PARA EL CAMPO VHR

TABLA 2.14: BROCA #1, HUECO 12.25” PRIMERA SECCIÓN

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | HCD605Z | 280 | TID | 280 | 3 | 109 | 4 | 40 | 21,328 | 0.00 | 93 | 2 |
| VHR 18D | QD605X | 400 | TID | 400 | 7 | 58 | 5 | 40 | 24,870 | 0.00 | 93 | 6 |
| VHR 19D | HC605Z | 500 | TID | 500 | 4 | 121 | 4 | 40 | 24,870 | 0.00 | 65 | 2 |
| VHR 24D | HCM605ZX | 400 | TID | 400 | 4 | 91 | 22 | 60 | 21,328 | 0.00 | 73 | 24 |
| VHR 22D | HCM605ZX | 400 | TID | 400 | 4 | 91 | 5 | 30 | 18,653 | 0.00 | 66 | 3 |
| VHR 21D | RSX519M | 400 | TID | 396 | 6 | 67 | 5 | 30 | 16,429 | 0.00 | 68 | 4 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.15 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN



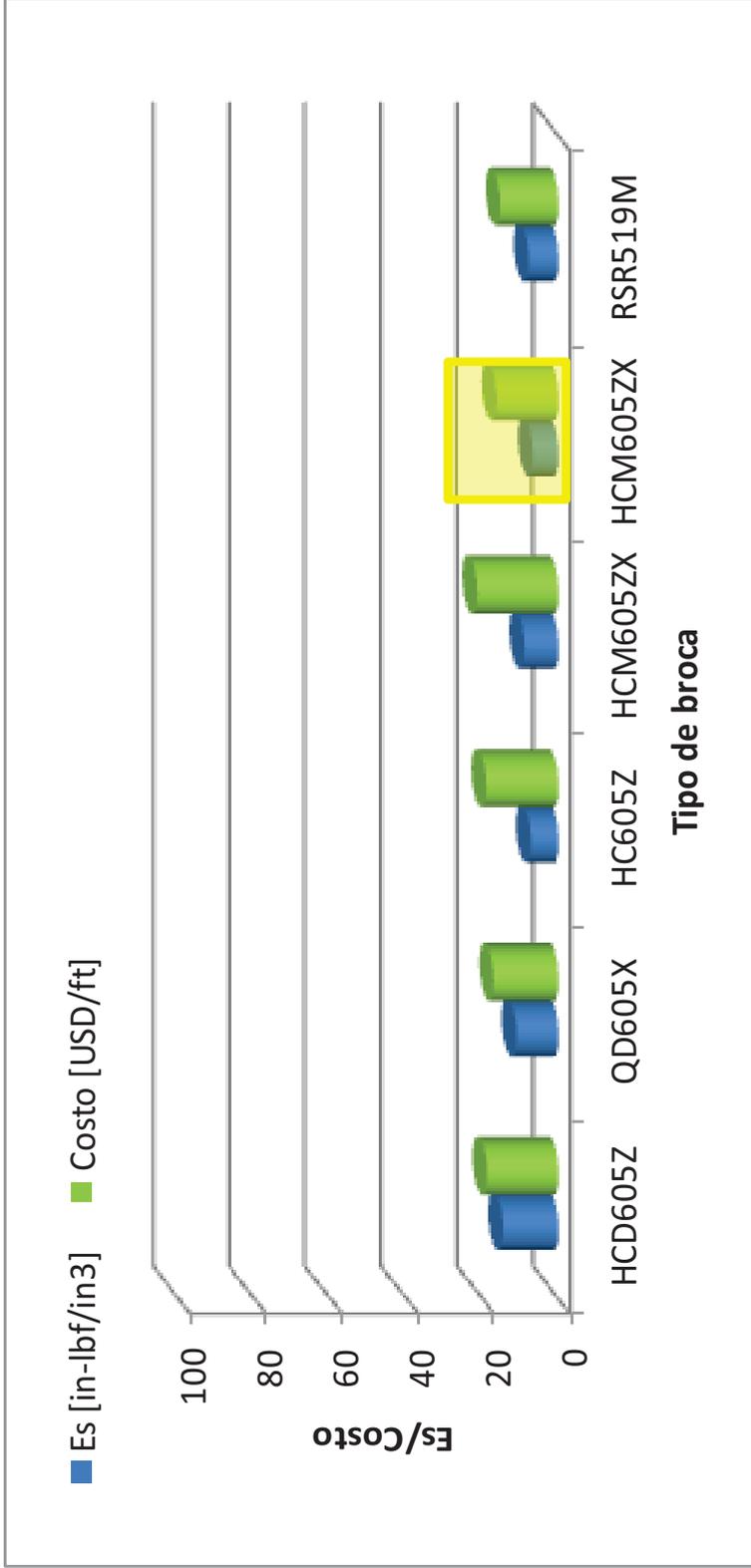
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.15: BROCA #2, HUECO 12.25” SECCIÓN SUPERFICIAL

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | HCD605Z | 3,542 | TID | 3,262 | 22 | 147 | 22 | 60 | 21,328 | 0.28 | 19 | 15 |
| VHR 18D | QD605X | 4,110 | TID | 3,710 | 21 | 176 | 15 | 80 | 24,870 | 0.40 | 17 | 11 |
| VHR 19D | HC605Z | 3,447 | TID | 2,947 | 17 | 172 | 13 | 60 | 24,870 | 0.50 | 19 | 7 |
| VHR 24D | HCM605ZX | 3,287 | TID | 2,887 | 22 | 129 | 12 | 60 | 21,328 | 0.40 | 22 | 9 |
| VHR 22D | HCM605ZX | 3,571 | TID | 3,171 | 18 | 177 | 12 | 60 | 18,653 | 0.40 | 16 | 7 |
| VHR 21D | RSR519M | 3,920 | TID | 3,520 | 25 | 141 | 18 | 40 | 16,429 | 0.40 | 15 | 8 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.16 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL



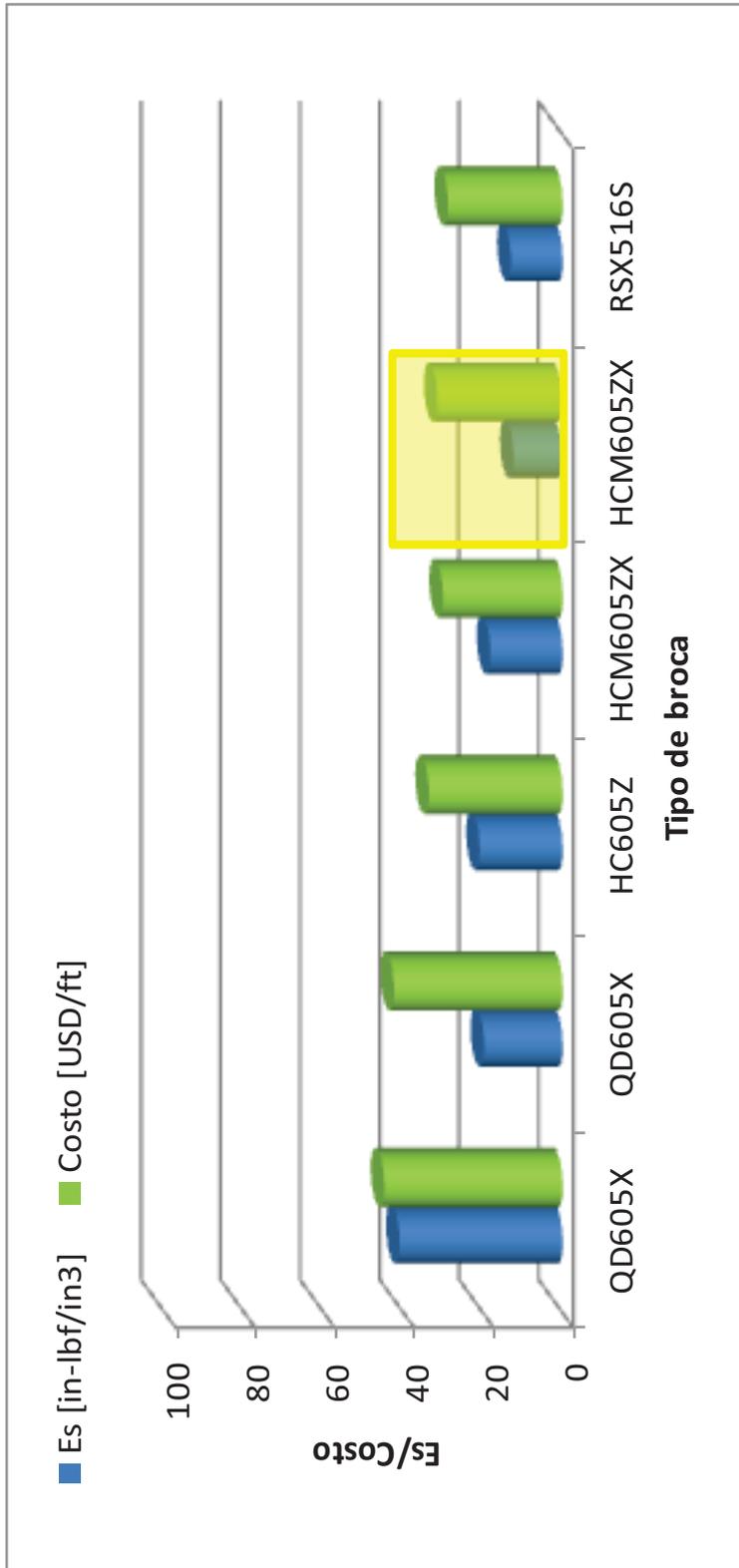
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.16 BROCA #3, HUECO 12.25’’ FORMACIÓN ORTEGUAZA

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | QD605X | 6,158 | TID/ORT/TIY | 2,616 | 50 | 53 | 22 | 60 | 21,328 | 3.54 | 45 | 41 |
| VHR 18D | QD605X | 5,933 | TID/ORT/TIY | 1,823 | 25 | 73 | 22 | 40 | 24,870 | 4.11 | 42 | 20 |
| VHR 19D | HC605Z | 5,962 | TID/ORT/TIY | 2,515 | 30 | 85 | 18 | 60 | 24,870 | 3.45 | 34 | 21 |
| VHR 24D | HCM605ZX | 5,317 | TID/ORT | 2,030 | 19 | 108 | 20 | 60 | 21,328 | 3.29 | 30 | 18 |
| VHR 22D | HCM605ZX | 5,106 | TID/ORT | 1,535 | 13 | 121 | 15 | 60 | 18,653 | 3.57 | 31 | 12 |
| VHR 21D | RSX516S | 6,103 | TID/ORT | 2,183 | 25 | 87 | 18 | 40 | 16,429 | 3.92 | 29 | 13 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.17 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA



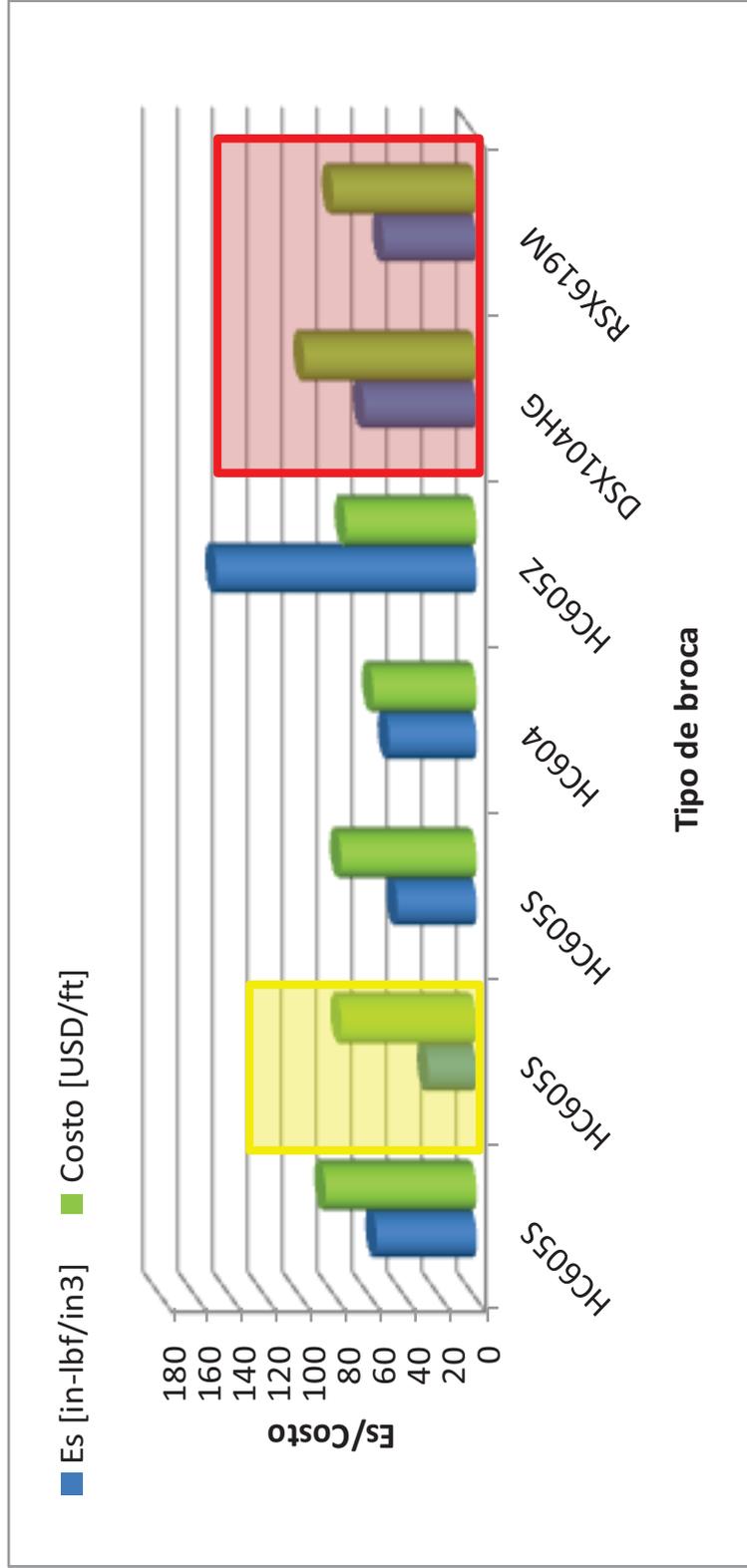
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.17 BROCA #4, HUECO 8.5” TOPE FORMACIÓN TIYUYACU

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | HC605S | 6,900 | TIY | 742 | 18 | 42 | 17 | 60 | 21,328 | 6.16 | 87 | 57 |
| VHR 18D | HC605S | 6,780 | TIY | 847 | 17 | 51 | 15 | 40 | 24,870 | 5.93 | 77 | 28 |
| VHR 19D | HC605S | 6,778 | TIY | 816 | 15 | 53 | 17 | 60 | 24,870 | 5.96 | 78 | 45 |
| VHR 24D | HC604 | 6,923 | ORT/TIY | 1,606 | 36 | 45 | 16 | 60 | 21,328 | 5.32 | 59 | 50 |
| VHR 22D | HC605Z | 6,717 | ORT/TIY | 1,611 | 52 | 31 | 22 | 90 | 18,653 | 5.11 | 75 | 149 |
| VHR 21D | DSX104HG | 6,507 | ORT/TIY | 404 | 7 | 59 | 20 | 80 | 16,429 | 6.10 | 99 | 64 |
| | RSX619M | 7,090 | TIY | 583 | 11 | 53 | 20 | 60 | 16,429 | 6.51 | 82 | 53 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.18 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU



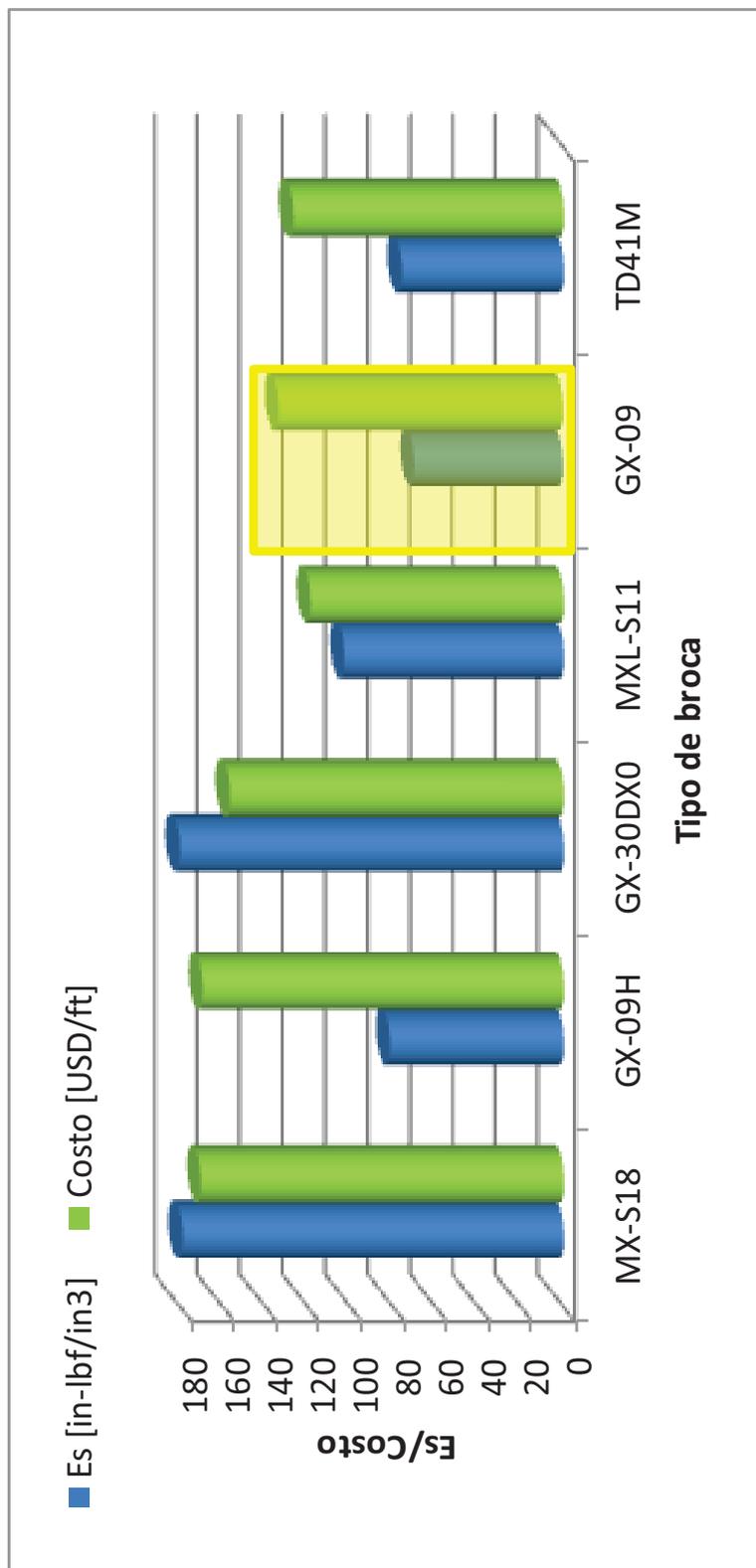
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.18: BROCA #5, HUECO 8.5” FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|-----------------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | MX-S18 | 7,407 | TIY | 507 | 29 | 17 | 22 | 60 | 21,328 | 6.90 | 170 | 179 |
| VHR 18D | GX-09H | 7,156 | TIY | 376 | 15 | 25 | 22 | 40 | 24,870 | 6.78 | 169 | 81 |
| VHR 19D | GX-30DX0 | 7,238 | TIY | 460 | 19 | 24 | 26 | 70 | 24,870 | 6.78 | 157 | 181 |
| VHR 24D | MXL-S11 | 7,560 | TIY | 637 | 23 | 27 | 30 | 40 | 21,328 | 6.92 | 119 | 103 |
| VHR 22D | GX-09 | 7,210 | TIY | 493 | 20 | 25 | 15 | 50 | 18,653 | 6.72 | 134 | 70 |
| VHR 21D | TD41M | 7,462 | TIY | 372 | 10 | 37 | 30 | 40 | 16,429 | 7.09 | 127 | 76 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.19 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU



ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.19: BROCA #6, HUECO 8.5” FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-BASAMENTO

| Pozo | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
|---------|---------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| VHR 12D | HC506Z | 8,294 | TIY/TEN/NAP | 887 | 29 | 31 | 22 | 40 | 21,328 | 7.41 | 97 | 67 |
| | HR-S09 | 8,922 | NAP/HLLN/BAS | 628 | 37 | 17 | 37 | 50 | 21,328 | 8.29 | 164 | 257 |
| VHR 18D | HC506Z | 8,669 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,513 | 44 | 34 | 22 | 60 | 24,870 | 7.16 | 78 | 91 |
| VHR 19D | HC506Z | 8,675 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,437 | 44 | 33 | 22 | 60 | 24,870 | 7.24 | 81 | 94 |
| VHR 24D | HC605S | 8,347 | TIY/TEN/NAP | 787 | 26 | 30 | 22 | 70 | 21,328 | 7.56 | 103 | 119 |
| | HC506Z | 9,260 | NAP/HLLN/BAS | 913 | 25 | 37 | 22 | 40 | 21,328 | 8.35 | 89 | 56 |
| VHR 22D | HC605Z | 7,970 | TIY/TEN | 760 | 34 | 22 | 25 | 90 | 18,653 | 7.21 | 123 | 239 |
| | HC506Z | 8,901 | TEN/NAP/HLLN/BAS | 931 | 39 | 24 | 20 | 50 | 18,653 | 7.97 | 111 | 99 |
| | MXL-S11 | 8,945 | BAS | 44 | 5 | 9 | 22 | 60 | 18,653 | 8.90 | 999 | 365 |
| VHR 21D | DSX70FGPV | 9,020 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,558 | 43 | 36 | 24 | 60 | 16,429 | 7.46 | 69 | 93 |

ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN

3.1 PLANIFICACIÓN DEL PERFIL E HIDRÁULICA DEL POZO

De acuerdo a los cálculos efectuados de las tabla 2.8 a la tabla 2.19, siguiendo el método de energía mecánica específica para la selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, se identificaron las brocas que tienen el mejor rendimiento en las respectivas perforaciones, altas ratas de penetración y bajos tiempos de perforación. Antes de presentar el programa de brocas para cada campo se debe tomar en cuenta algunas consideraciones.

Para presentar el tipo de brocas que se va a utilizar en la perforación de un nuevo pozo de petróleo, se debe conocer el esquema mecánico de los pozos que para desarrollar los campos, es decir la planificación que tiene cada compañía operadora para perforar el pozo.

Esta planificación contiene:

- Tipo de pozo.
- Diámetro de casing.
- Puntos de asentamiento del casing.

Determinados estos tres puntos de la planificación, se estudia la columna estratigráfica para establecer que intervalo perfora cada broca y las profundidades a las cuales se necesitan efectuar los cambios de broca para continuar con una perforación rápida y eficiente.

Se propone un plan hidráulico para cada una de las brocas, así como el estudio de pérdidas de presión del pozo modelo de cada campo en el espacio anular y en la sarta de perforación, basado en las formulas del subcapítulo 1.5.

El anexo 3, contiene la hidráulica de las brocas utilizadas durante la perforación de los pozos analizados del campo Cuyabeno-VHR.

3.2 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO

Para el campo Cuyabeno, se planea perforar pozos tipo "S", cuyo objetivo primario es alcanzar, en la formación Pre-Cretácico a 8190 pies TVD, con un hueco de 8 ½". El esquema mecánico de los pozos está planificado de la siguiente manera:

Primero se perfora verticalmente un hueco de 26" hasta 330', para asentar un revestidor conductor de 20" @ 330' TVD.

Se perfora un hueco de 16", hasta alcanzar el tope de la formación Orteguzza, se asienta un casing de 13.375" @ 4530 TVD.

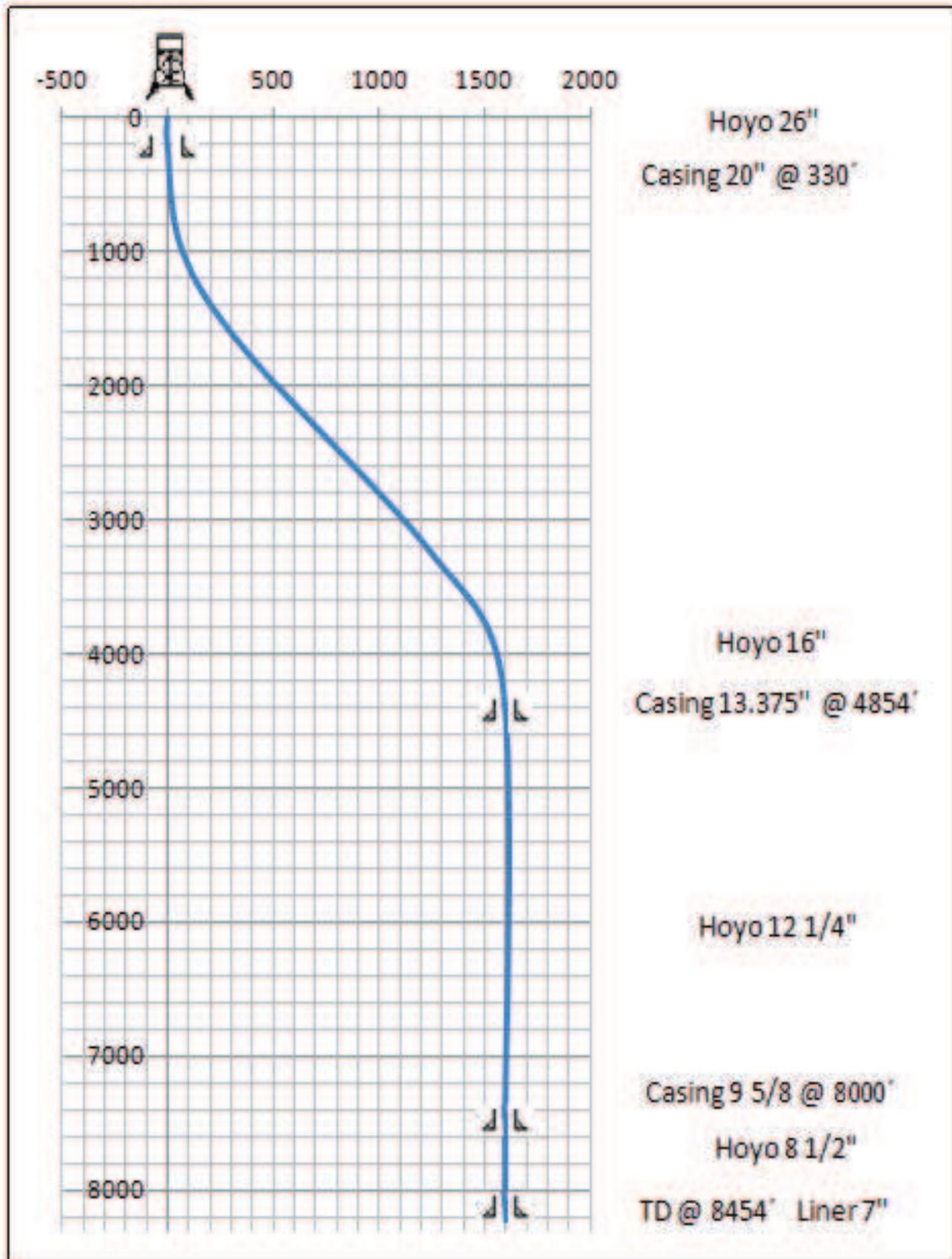
Se continua perforando un hueco de 12.25" hasta alcanzar la Caliza A aproximadamente a 7640 pies. El revestidor de 9 5/8" será asentado @ 7640' TVD.

Finalmente se perforará un hueco de 8 ½', hasta el TD. El liner de 7" será asentado @ 8190' TVD.

La figura 3.1, muestra el esquema mecánico del pozo modelo para el campo Cuyabeno, la geometría del pozo es el punto de partida para el cálculo de la hidráulica de perforación.

La figura 3.2, muestra detalladamente el plan de brocas, profundidades, litología, diámetro y tipo de las brocas seleccionadas. A continuación, se detalla el plan de brocas para el campo Cuyabeno.

FIGURA 3.1 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO.



FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: Walter Haro

3.2.1 PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO

Se recomienda el siguiente plan de broca. La tabla 3.1, muestra el programa de brocas seleccionado para el campo Cuyabeno, además cuenta con los intervalos determinados de perforación y los parámetros operacionales recomendados para cada broca.

En primer lugar se utiliza la broca tricónica tipo T11 para la sección de 26", seleccionada de la tabla 2.8. La segunda sección, de 16" se utiliza una broca PDC tipo RSR519M, ver tabla 2.9, hasta alcanzar el tope de la formación Orteguzaza. Para realizar los trabajos en la sección de 12 ¼", se seleccionaron las brocas resaltadas en las tablas 2.10, 2.11 y 2.12.

Las brocas escogidas son PDC a excepción de la broca tricónica tipo TD41AMPC, que se utiliza para atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu. Esta sección, inicia la perforación con la broca tipo DSX104DGJNSU, la broca tipo RSX192HFGSW, se utiliza para alcanzar el conglomerado de Tiyuyacu, en este punto se perfora con la broca TD41AMPC.

Para llegar a la Caliza A, aproximadamente 1000 [ft] por debajo del conglomerado, se utiliza una broca tipo DSR619M de 12 ¼", intervalo correspondiente a las formaciones Tena y Napo. Finalmente para perforar la sección de 8 ½" una broca PDC tipo DSR619M es la recomendada. Ver tabla 2.13.

TABLA 3.1: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO

| Nº | Tamaño [in] | Tipo de Broca | Profundidad de Salida MD [ft] | W [kbs] | N [rpm] |
|----|-------------|---------------------|-------------------------------|---------|---------|
| 1 | 26 | T11 | 330 | 2 - 12 | 30 - 60 |
| 2 | 16.00 | RSR519M | 4,854 | 5 - 10 | 40 - 60 |
| 3 | 12.25 | DSX104DGJNSU | 5,928 | 5 - 14 | 40 - 60 |
| 4 | 12.25 | RSX192HFGSW | 6,412 | 5 - 12 | 40 - 60 |
| 5 | 12.25 | TD41AMPC | 7,036 | 2 - 10 | 40 - 60 |
| 6 | 12.25 | DSR619M | 8,000 | 8 - 20 | 40 - 60 |
| 7 | 8.5 | DSR619M | 8,454 | 8 - 20 | 40 - 60 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.2 PLAN DE BROCAS CAMPO CUYABENO.

| PROF TVD (ft) 0' | LITOLOGIA | FORMACION | DIAM | BROCA | | BROCAS PROPUESTAS / COMENTARIOS | | | | | | | |
|---------------------|--------------------|-----------|--------|----------------------|---|--|--------------------|--|---------|---------|----------------|---|--------------|
| | | | | INTERVALO (MD) | TIPO (IADC) | | | | | | | | |
| 0' - 500' | [Lithology Column] | T.I. | 26" | 330 | T11 (115M) |  <p>26" T11: BROCA CON COJINETES SELLADOS, DE DIENTES LARGOS, PROTECCION EN LAS PATAS</p>  <p>16" RSR519M LINEA DE BROCAS ROTARY STEERABLE, CUERPO DE MATRIZ, 5 ALETAS, CORTADORES RAPTOR DE 19mm.</p> | | | | | | | |
| 500' - 1,000' | | T.I. | 16" | 4,524' | BROCA RSR519M (M323) | | | | | | | | |
| 1,000' - 1,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 1,500' - 2,000' | | | | | | | | | | | | | |
| 2,000' - 2,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 2,500' - 3,000' | | | | | | | | | | | | | |
| 3,000' - 3,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 3,500' - 4,000' | | | | | | | | | | | | | |
| 4,000' - 4,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 4,500' - 4,854' | | | | | | | | | | | | | |
| 4,854' - 5,000' | ORTEGUAZA | 12 1/4" | 3,146' | DSX104DG.JNSU (M323) |  <p>12 1/4" DSX104DG.JNSU 5 ALETAS, CORTADORES TReX de 19mm</p> | | | | | | | | |
| 5,000' - 5,500' | TIYUYACU | | | | | 12 1/4" | RSX192HFGSW (S322) |  <p>12 1/4" RSX192HFGSW CUERPO DE ACERO 5 ALETAS, CORTADORES TReX de 19mm.</p> | | | | | |
| 5,500' - 6,000' | | | | | | | | | | | | | |
| 6,000' - 6,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 6,500' - 7,000' | | | | | | | | | TENA | 12 1/4" | TD41AMPC (417) |  <p>12 1/4" TD41AMPC TRICONICA, SELLO RADIAL DE CAUCHO</p> | |
| 7,000' - 7,500' | | | | | | | | | | | | | |
| 7,500' - 8,000' | | | | | | | | | | | | | NAPO |
| 8,000' - 8,454' | | | | | | | | | HOLLIN | 8 1/2" | 454' | DSR619M (M323) | |
| 8,454' - TD @ | | | | | | | | | | | | | PRECRETACICO |
| SIMBOLOGIA | | | | | | | | | ARCILLA | LUTITA | PRECRETACICO | | |
| | | CALIZA | CHERT | | | | | | | | | | |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.3 EJEMPLO DE CÁLCULO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Los cálculos de las caídas de presión en el anular, sarta de perforación, hidráulica de la broca y optimización del área de las boquillas, se realiza al final de la sección de 8.5 pulgadas hasta superficie, como ejemplo de cálculo, utilizando el programa hidráulico que se basa en las fórmulas detalladas en el subcapítulo 1.5, “hidráulica de perforación”. Para realizar el análisis hidráulico de la broca, se toma como ejemplo la broca tipo DSR619M de la sección de 8.5 pulgadas.

El programa de simulación hidráulica consta de 3 secciones generales como muestran las figuras 3.1, 3.2 y 3.3, cada sección general se encuentra dividida de acuerdo a los cálculos que realiza. Los datos se ingresan en los casilleros de color verde y en la sección datos y los resultados se indican en los casilleros de color celeste.

Sección 1, datos:

- Datos sobre el pozo.
- Datos de la broca.
- Datos del fluido de perforación.

Sección 2, pérdidas de presión.

- Pérdidas de presión en el anular y velocidad crítica.
- Pérdidas de presión en la sarta de perforación.

Sección 3, análisis hidráulico de la broca.

- Análisis hidráulico de la broca.
- Selección de jets (optimización).

3.3.1 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

- Ingresar los datos requeridos en la sección 1. Ver figura 3.3.

- Ingresar los datos de diámetro mayor (diámetro de la broca), diámetro menor (diámetro tubería de perforación) y longitud de la sección, de acuerdo a la geometría del pozo en la sección 2, pérdidas de presión en el anular. Ver figura 3.4.
- Ingresar los datos, diámetro interior de la tubería de perforación y la longitud de la sección, en la sección 2, pérdidas de presión en la sarta de perforación. Ver figura 3.5.
- En la sección 3, análisis hidráulico de la broca, ingresar la presión de superficie. Ver figura 3.6.
- En la sección 3, selección de los jets (optimización), ingresar los datos de presión máxima en superficie, caudal de la bomba 1, caudal de la bomba 2, densidad del fluido, presión de bomba 1 y presión de bomba 2. Ver figura 3.7.
- Realizar los cálculos de hidráulica de la broca, con los resultados obtenidos en la sección 3, selección de los jets (optimización).

Los datos de caudal, profundidad, densidad del fluido, lecturas del viscosímetro y boquillas de la broca son necesarios para realizar los cálculos y se deben ingresar en la sección 1, datos. Como se muestra en la figura 3.3.

FIGURA 3.3 SECCIÓN 1, DATOS.

|  | | ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL | | | | | |
|---|------------------|------------------------------|--------------------|------|---------------------------|--------------------------|------------------|
| | | INGENIERÍA EN PETRÓLEOS | | | | | |
| | | PROGRAMA DE HIDRÁULICA | | | | | |
| | | | | | | | |
| DATOS | DATOS DEL FLUIDO | Ø | Fann [lbs/100pies] | | Profundidad (TVD) [ft] | 8110 | |
| | | 600 | 12 | | Diámetro del hoyo [in] | 8.5 | |
| | | 300 | 9 | | TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO | | |
| | | 200 | 9 | | REVESTIMIENTO SUPERFICIAL | Profundidad [ft] | |
| | | 100 | 8 | | Tipo | | |
| | | 6 | 7 | | Diámetro Externo [in] | | |
| | | 3 | 7 | | Diámetro Interno [in] | | |
| | | Densidad [ppg] | | 10.4 | | REVESTIMIENTO INTERMEDIO | Profundidad [ft] |
| | BROCA | Diámetro [in] | 8.5 | | Tipo | | |
| | | No. Jets | 6 | | Diámetro Externo [in] | | |
| | | JETS | | 12 | 12 | Diámetro Interno [in] | |
| | | | | 12 | 12 | | |
| | | | | 12 | | | |
| | | | | 12 | | | |
| | | Caudal [gal/min] | | | | | 520 |

ELABORADO POR: Walter Haro

Para realizar los cálculos de la sección 2, pérdidas de presión en el anular y en la sarta de perforación, se debe tener en cuenta la geometría del pozo, de esta depende el número de caídas de presión parciales, se pueden realizar los cálculos para 8 intervalos o secciones a la vez, en esta sección se pueden realizar cálculos de densidad equivalente de circulación, velocidad crítica.

FIGURA 3.4 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR.

| PÉRDIDAS DE PRESIÓN | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|-------------|---|---|--|
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR Y VELOCIDAD CRÍTICA | | | | | | | | |
| SECCIONES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Diámetro mayor (D2) [pulg] | 8.50000 | 9.62500 | 13.37500 | 20.00000 | | | | |
| Diámetro menor (D1) [pulg] | 5.00000 | 5.00000 | 5.00000 | 5.00000 | | | | |
| Longitud de la sección [ft] | 454.00000 | 3145.00000 | 4524.00000 | 330.00000 | | | | |
| Velocidad del fluido [ft/s] | 3.36762 | 2.35243 | 1.03398 | 0.42432 | | | | |
| Índice de comportamiento del flujo (na) | 0.05457 | 0.05457 | 0.05457 | 0.05457 | | | | |
| Factor de consistencia (Ka) | 32.72343 | 32.72343 | 32.72343 | 32.72343 | | | | |
| Viscosidad efectiva μ_{ea} [cp] | 30.91109 | 56.47490 | 215.36635 | 867.32374 | | | | |
| Número de Reynolds (Rea) | 3315.23442 | 1674.98507 | 349.58846 | 63.80299 | | | | |
| ReL (Flujo Laminar a Transicional) | 3395.23604 | 3395.23604 | 3395.23604 | 3395.23604 | | | | |
| ReT (Flujo Transicional a Turbulento) | 4195.23604 | 4195.23604 | 4195.23604 | 4195.23604 | | | | |
| Tipo de Flujo | Laminar | Laminar | Laminar | Laminar | | | | |
| Factor de fricción para flujo Laminar | 0.00724 | 0.01433 | 0.06865 | 0.37616 | | | | |
| Factor de fricción para flujo Turbulento | | | | | | | | |
| Factor de fricción para flujo Transicional | | | | | | | | |
| Caída de presión (Pa) [psi] | 4.29117 | 21.72645 | 15.97580 | 0.60038 | | | | |
| Velocidad crítica [ft/s] | 3.40915 | 3.38260 | 3.32672 | 3.27278 | | | | |
| Caudal Crítico [GPM] | | | | | | | | |
| Solo cuando $V_a > V_c$ | | | | | | | | |
| Pérdida de presión total [psi] | | | | | 42.59380 | | | |
| Densidad equivalente de circulación [ppg] | | | | | 10.50100019 | | | |

Datos

Resultados

ELABORADO POR: Walter Haro

Para realizar estos cálculos es necesario ingresar los datos de caudal, profundidad, densidad del fluido y lecturas del viscosímetro en la sección de datos.

Los datos de diámetro menor, diámetro mayor y longitud de cada sección se deben ingresar en los casilleros verdes como se muestra en las figuras 3.3 y 3.4.

Los resultados se mostrarán en los casilleros de color celeste, el objetivo de esta sección es obtener la pérdida de presión total en el espacio anular y la pérdida de presión en la sarta de perforación.

FIGURA 3.5 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA.

| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA DE PERFORACIÓN | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|---|---|---|---|---|---|
| SECCIONES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Diámetro interior (D) [pulg] | 4.276 | 3 | | | | | | |
| Longitud de la sección [ft] | 7632 | 822 | | | | | | |
| Velocidad del fluido [ft/s] | 8.70261 | 17.68000 | | | | | | |
| Índice de comportamiento del flujo (np) | 0.41480 | 0.41480 | | | | | | |
| Factor de consistencia (Kp) | 3.46172 | 3.46172 | | | | | | |
| Viscosidad efectiva μ_{ep} [cp] | 15.80009 | 8.48091 | | | | | | |
| Número de Reynolds (Rep) | 20053.31214 | 53250.02652 | | | | | | |
| ReL (Flujo Laminar a Transicional) | 2901.72865 | 2901.72865 | | | | | | |
| ReT (Flujo Transicional a Turbulento) | 3701.72865 | 3701.72865 | | | | | | |
| Tipo de Flujo | Turbulento | Turbulento | | | | | | |
| Factor de fricción para flujo Laminar | | | | | | | | |
| Factor de fricción para flujo Turbulento | 0.00347 | 0.00258 | | | | | | |
| Factor de fricción para flujo Transicional | | | | | | | | |
| Caída de presión (Pp) [psi] | 189.10975 | 88.98987 | | | | | | |
| Caída total de presión en la sarta [psi] | 278.09963 | | | | | | | |

ELABORADO POR: Walter Haro.

En la sección 3, análisis hidráulico de la broca y selección de jets, es necesario ingresar los datos de densidad del fluido y boquillas en la sección 1, datos, para realizar los cálculos.

Ingresar los datos en los casilleros de color verde y los resultados se obtiene en los casilleros de color celeste. En la figura 3.7 se puede ver las zonas donde se deben ingresar los datos y las zonas de los resultados.

FIGURA 3.6 SECCIÓN 3, ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA BROCA

| ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA BROCA | |
|---|------------|
| Presión en superficie [psi] | 2700 |
| Pérdida de presión en la Mecha (ΔP_b) [psi] | 589.558471 |
| Caballaje de Fuerza hidráulica en la Mecha (HHPb) [HP] | 178.862546 |
| Caballaje hidráulico por pulgada cuadrada [HP/in ²] | 3.14401985 |
| Velocidad de las Boquillas de la Mecha (Vn) [ft/s] | 251.092593 |
| Fuerza de impacto (IF) [lbs] | 703.579658 |
| Fuerza de impacto por pulgada cuadrada [lbs/in ²] | 12.367421 |
| Porcentaje de pérdida de presión en la Mecha [%PSib] | 21.8354989 |
| Caballaje hidráulico del sistema [HP] | 819.136523 |

ELABORADO POR: Walter Haro.

Finalmente, se realiza la optimización del caudal y del diámetro de las boquillas para maximizar la hidráulica de perforación según los requerimientos del caso, optimización de la fuerza de impacto o de la potencia hidráulica.

FIGURA 3.7 SECCIÓN 3, OPTIMIZACIÓN HIDRAULICA

| SELECCIÓN DE LOS JETS (OPTIMIZACIÓN) | | |
|--|-------------------------|-------------|
| P_{MAX} (Presión Máxima en superficie) [psi] | | 2700 |
| Q1 (Caudal Bomba 1) [gal/min] | | 355 |
| Q2 (Caudal Bomba 2) [gal/min] | | 165 |
| ρ (Densidad del fluido) [ppg] | | 10.4 |
| P1 (Presión Bomba 1) [psi] | | 1500 |
| P2 (Presión Bomba 2) [psi] | | 1200 |
| Área de los nozzles [in ²] | 0.662678325 | |
| Pb (Pérdida de presión en la broca) [psi] | Pb1: | 274.8746419 |
| | Pb2: | 59.38077465 |
| Pc (Pérdida total excepto la pérdida en los nozzles) [psi] | Pc1: | 1225.125358 |
| | Pc2: | 1140.619225 |
| Pendiente m | 0.093284337 | |
| Presión óptima [psi] | Por Fuerza de Impacto | 2579.678213 |
| | Por Potencia Hidráulica | 2469.622867 |
| Qopt (Caudal óptimo) [gal/min] | Por Fuerza de Impacto | 217.7674995 |
| | Por Potencia Hidráulica | 136.4622729 |
| Pérdida de Presión en la broca [psi] | Por Fuerza de Impacto | 120.3217865 |
| | Por Potencia Hidráulica | 230.377133 |
| Área de los Nozzles [pulg ²] | Por Fuerza de Impacto | 0.614416231 |
| | Por Potencia Hidráulica | 0.278249676 |
| Diámetro de los Jets [32avo de pulg] | Por Fuerza de Impacto | 11.55474178 |
| | Por Potencia Hidráulica | 7.775820705 |

Datos

Resultados

ELABORADO POR: Walter Haro.

Los resultados que se obtiene, muestra el diámetro de las boquillas de manera que se optimice la hidráulica de perforación. Priorizando la fuerza de impacto, se obtiene mayores tasas de penetración. Priorizando la potencia hidráulica, se obtiene la limpieza óptima de la broca y del hueco.

El plan hidráulico de las brocas seleccionadas, prioriza la rata de penetración que pueden obtener las mismas, para los cálculos se toma el diámetro de las boquillas optimizando la fuerza de impacto.

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BROCAS SELECCIONADAS CAMPO CUYABENO⁵

Cada broca seleccionada es descrita con sus características técnicas, a continuación se presentan estas características, la foto de las brocas, ver figuras 3.8 hasta 3.13, y la tabla de los requerimientos hidráulicos de cada una basados en la simulación, ver tablas 3.2 hasta 3.8.

Por ejemplo, la tabla 3.2 tiene en la parte superior información como: diámetro de la broca, caudal, densidad del fluido de perforación, diámetro y número de boquillas de la broca. En la parte inferior de la tabla, se encuentra los parámetros de la hidráulica como: área total de flujo, caída de presión en la broca, caballaje hidráulico por pulgada cuadrada, velocidad del fluido en la boquilla, fuerza de impacto. Estos parámetros se calculan con el programa de simulación hidráulica, basado en las formulas del subcapítulo 1.5.

3.4.1. SECCIÓN DE 26’’

3.4.1.1 T11

Broca tricónica de dientes de acero, de la línea Titan, su código IADC es 115, es altamente resistente a la abrasión, sus dientes están soldados y recubiertos por una capa de metal duro.

Debido al posicionamiento de sus boquillas, el caudal proveniente de estas brinda una limpieza directa al gauge y a los dientes justo antes de entrar en la formación que proporciona una buena limpieza del pozo. El rango recomendado de peso sobre la broca es de 10 a 50 [klbs], y la velocidad en la rotaria es de 450-60 [RPM]. El área mínima del anular es de 55.60 pulgadas.

Esta broca va a atravesar el Terciario Indiferenciado, la litología de estas formaciones básicamente cuenta con cantos rodados (Conglomerados superficiales) y Arcillolita y debido a la dureza de esta formación se obtiene un

⁵ Información tomada de las especificaciones técnicas: National Oilwell Varco, 2012.

HSI muy bajo por lo que no se alcanza un alto ROP, se recomienda perforar controlando parámetros.

TABLA 3.2 HIDRAULICA BROCA TIPO T11

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 26 | 250 | 8,6 | 15 | 3 | 16 | 1 |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0,714 | 96,739 | 14,110 | 0,027 | 112,030 | 124,800 | 0,234 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.8 BROCA DE 26'' T11



FUENTE: National Oilwell Varco

ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.2 SECCIÓN DE 16''

3.4.2.1 RSR519M

Broca PDC con IADC M323, rotor direccional, cortadores Raptor, de cinco aletas, sus cortadores primarios son de 0.75" (19.0mm), de cuerpo de matriz, cuenta con siete boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

Tiene cortadores con una capa PDC termo-resistente, esta capa provee a la broca de una doble resistencia al calor en comparación con las brocas normales y una resistencia a la abrasión de hasta cuatro veces más, estas dos características hacen que la perforación mantenga ROPs constantes.

El peso máximo sobre la broca recomendado es de 49 [klbs], el área de desalojo de residuos es de 38.10 pulgadas, se recomienda utilizar un máximo de 1100 [gpm] para lograr el mejor rendimiento posible de la broca.

TABLA 3.3 HIDRAULICA BROCA TIPO RSR519M

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|---------------|--------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 16 | 850 | 9.7 | 11 | 5 | 13 | 2 |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in2] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in2 | Vn [ft/seg] | IF | IF/in2 |
| 0.723 | 1233.390 | 611.658 | 3.034 | 376.055 | 1606.515 | 7.970 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.9 BROCA DE 16'' RSR519M



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco.

3.4.3 SECCIÓN DE 12.25”

3.4.3.1 DSX104DGJNSU

Broca PDC con IADC M323, de la línea estándar “DS Convencional”, cortadores “treX”, de cinco aletas, con cortadores primarios cilíndricos de 0.75” (19.0mm), termo-resistentes para soportar mayores cantidades de calor y tener menor tendencia a la abrasión.

Tiene cinco boquillas que brindan la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco. Cuenta con cortadores traseros que brindan mayor densidad de corte en la formación para incrementar el ROP y para alargar la vida útil de la herramienta.

El rango operativo recomendado de peso sobre la broca va desde 8 hasta 49 [klbs], el aérea para eliminar residuos es de 41.30 pulgadas.

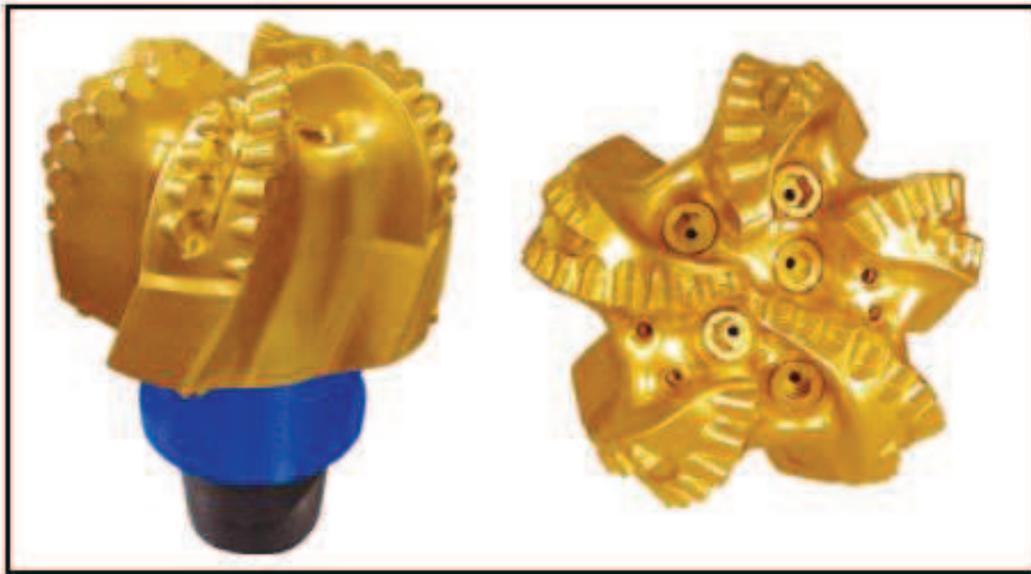
Esta broca va a perforar la parte final del Terciario Indiferenciado y atraviesa la primera sección de la formación Orteguaza, la litología que va a atravesar es de Arcillolita, Limolita, Arenisca, Anhidrita.

TABLA 3.4 HIDRAULICA BROCA TIPO DSX104DGJNSU

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 850 | 10.3 | 11 | 2 | 12 | 7 |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.959 | 745.366 | 369.639 | 3.128 | 283.696 | 1286.921 | 10.891 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.10 BROCA DE 12.25” DSX104DGJNSU



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.2 RSX192HFGSW

Broca PDC con IADC S322 de cuerpo de acero, de la línea “Rotary Steerable”, cortadores “TreX” y tecnología “HardFacing (HF)” que provee a la broca de mayor resistencia a la abrasión, de cinco aletas, cuenta con siete boquillas que dan la hidráulica necesaria para realizar la limpieza del hueco.

Tiene cortadores PDC cilíndricos termo-resistentes, la broca tiene doble resistencia al calor en comparación con las brocas normales y resistencia a la abrasión cuatro veces mayor.

Está revestida de carburo que aumenta espectacularmente la resistencia del cuerpo a la abrasión. En virtud de la resistencia del acero, la posición de las aletas y el volumen de la broca, se alcanza mayores tasas de penetración.

El rango operativo recomendado de peso sobre la broca va desde 5 hasta 49 [klbs], el área de desalojo de residuos es de 41.25 pulgadas.

Con esta broca, se va a perforar la parte final de la formación Ortegua y atraviesa el conglomerado superior de la formación Tiyuyacu, la litología que va a atravesar es de Lutita, Arcillolita, Conglomerado (muy duro), Arenisca, Limolita.

TABLA 3.5 HIDRAULICA BROCA TIPO RSX192HFGSW

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 600 | 10.4 | 10 | 2 | 11 | 5 |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.617 | 904.187 | 316.518 | 2.679 | 310.957 | 1005.372 | 8.509 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.11 BROCA DE 12.25” RSX192HFGSW



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.3 TD41AMPC

Broca ticónica de insertos de carburo de tungsteno, de la línea de producto “TuffDuty TD”, cuenta con el sistema patentado “MudPick” y jet central para mejorar su hidráulica, diseñadas para perforar roca compactada, con código IADC 417 con sello radial de caucho y butano Nitro-Hidrogenado (HNBR).

El peso recomendado que se puede aplicar sobre la broca está en un rango de 25 a 60 [klbs]. La velocidad en la rotaria es de 250-60 [RPM]. El área mínima del anular es de 26.8 pulgadas. Esta broca, va a atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu.

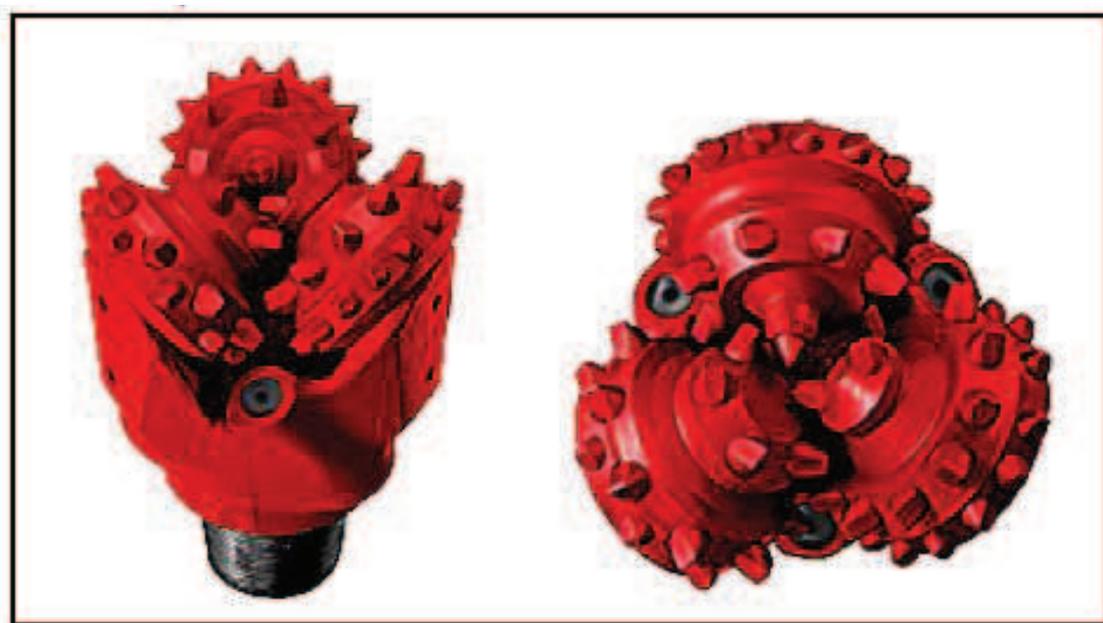
Cuenta con insertos redondos que sobresalen para disminuir el desgaste de la broca y mejorar su estabilidad sin disminuir el área de flujo anular.

TABLA 3.6 HIDRAULICA BROCA TIPO TD41AMPC

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 550 | 10.1 | 12 | 3 | 15 | 1 |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.504 | 1107.721 | 355.453 | 3.008 | 349.254 | 1005.237 | 8.507 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.12 BROCA DE 12.25" TD41AMPC



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.4 DSR619M

Broca PDC con código IADC M323, de la línea estándar DS, cortadores Raptor, de seis aletas, con cortadores cilíndricos termo-resistentes de 0.75 [in] (19.0mm) que mejoran la resistencia a la abrasión, cuerpo de matriz, cuenta con seis boquillas de tamaño variable para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

La configuración de los insertos provee de una alta resistencia a los impactos, están ubicados justo detrás de la estructura de corte primaria, minimiza los daños en los cortadores de los hombros, permite que la broca perforé intervalos más grandes a mejores tasas de penetración.

Protección del calibre termo-estable soldado con metal duro de máxima durabilidad y de alta precisión.

El diseño de flujo cruzado desde la región central de la broca hacia fuera mejora la eficiencia de la perforación.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 34 [klbs], la tasa de flujo hidráulica máxima es de 500 [gpm]. El JSA es de 14.15 pulgadas.

Esta broca va a perforar la sección final del pozo, atravesando las formaciones Tena, Napo, Hollin y el Pre-Cretácico, con litología Arenisca, Limolita y Arcillolita.

TABLA 3.7 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 12.25”

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 550 | 10.1 | 10 | 6 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.460 | 1328.185 | 426.197 | 3.607 | 382.433 | 1100.734 | 9.316 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.13 BROCA DE 12.25” DSR619M

FUENTE: National Oilwell Varco
 ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.4 SECCIÓN DE 8.5”

3.4.4.1 DSR619M

La sección de 8.5 pulgadas se perforará con la broca tipo DSR619M de similares características que la broca del mismo tipo de 12 ¼ pulgadas.

TABLA 3.8 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 8.5”

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 8.5 | 520 | 10.4 | 12 | 6 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.663 | 589.558 | 178.863 | 3.144 | 251.093 | 703.580 | 12.367 |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.6 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO VHR

En el campo VHR, se planea perforar pozos tipo “S” de dos secciones, y tiene como objetivo primario es alcanzar el Basamento a 8240 pies TVD con un hueco de 8 ½”. El esquema de perforación de los pozos está planificado de la siguiente manera:

Primero se perfora verticalmente un hueco de 12.25” hasta 450’, para empezar a construir el primer KOP del pozo. Se continúa construyendo el ángulo del pozo hasta 3650 pies MD (KOP#2).

La sección de 12.25” termina en la formación Tiyuyacu a una profundidad de 5928 pies MD. El revestidor de 9 5/8” es asentado @ 5928’ MD.

Finalmente se perfora verticalmente un hueco de 8 ½’, hasta la profundidad total. El liner de 7” es asentado @ 8660’ MD. La figura 3.14 muestra el esquema de perforación del pozo modelo del campo VHR.

3.7 PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR

La tabla 3.9, contiene el programa de brocas escogido para el campo VHR, además tiene los parámetros operacionales recomendados para cada broca y las profundidades a las que perforan.

La primera sección de 12 ¼”, inicia la perforación con la broca tipo HC605Z, seleccionada de la tabla 2.14, llega hasta 450 pies de profundidad, punto en el que inicia el primer KOP.

La broca tipo HCM605ZX, seleccionada de las tablas 2.15 y 2.16 perfora dos etapas para lo cual se recomienda que la primera se cumpla hasta que se completen máximo 20 horas de perforación y después de este tiempo sacar la broca para evaluarla y continuara el segundo intervalo hasta los 5928 [ft], profundidad a la que finaliza esta sección.

Se continúa los trabajos con la sección de 8 ½ pulgadas con la broca tipo HC605S seleccionada de la tabla 2.17, hasta 6787 [ft]. A dicha profundidad se ocupa la broca tricónica tipo GX-09 para atravesar el conglomerado Tiyuyacu, como se observa en la tabla 2.18. Culminado el conglomerado, se utiliza una broca PDC tipo HCM506Z, seleccionada de la tabla 2.19, para completar esta sección.

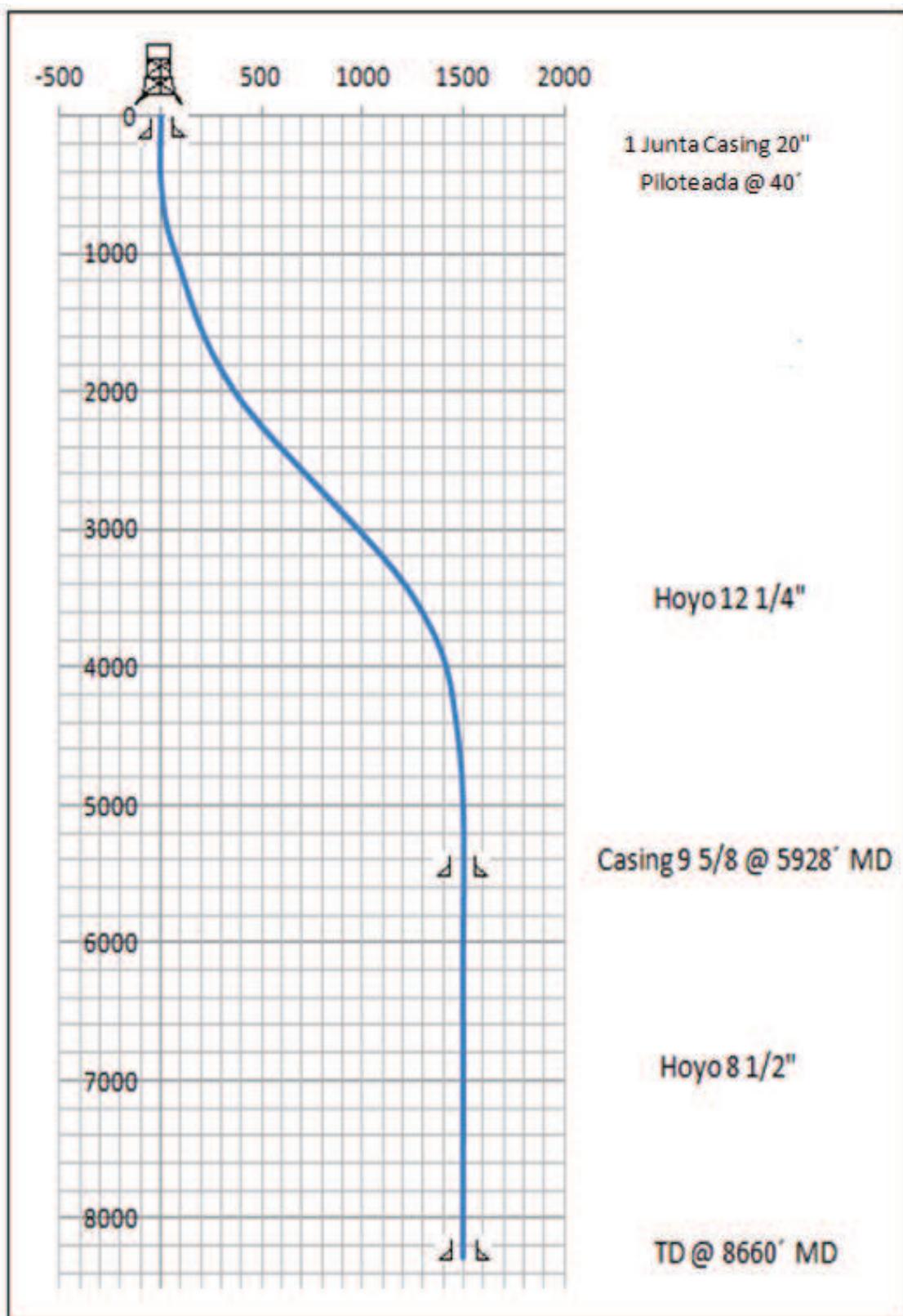
TABLA 3.9: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR

| Nº | Tamaño | Tipo de Broca | Profundidad de Salida MD [ft] | W [klbs] | N [rpm] |
|----|--------|-----------------|-------------------------------|----------|----------|
| 1 | 12.25 | HC605Z | 450 | 10 - 25 | 40 - 80 |
| 2 | 12.25 | HCM605ZX | 3,650 | 15 - 30 | 60 - 80 |
| 2R | 12.25 | HCM605ZX | 5,928 | 15 - 30 | 60 - 80 |
| 3 | 8.5 | HC605S | 6,787 | 2 - 15 | 40 - 100 |
| 4 | 8.5 | GX-09 | 7,210 | 6 - 22 | 40 - 100 |
| 5 | 8.5 | HCM 506Z | 8,660 | 2 - 22 | 40 - 100 |

ELABORADO POR: Walter Haro

La figura 3.15, muestra el plan de brocas con sus principales características como diámetro y tipo junto con la litología y profundidades de cada una.

FIGURA 3.14 ESQUEMA DE PERFORACIÓN POZO CAMPO VHR.



FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: Walter Haro.

FIGURA 3.15 PLAN DE BROCAS CAMPO VHR.

| PROF (ft) MD | LITOLOGIA PRINCIPAL & (TOPES) | FORMACION (ESPEJOR) | DIAM HUECO | TIPO | COMENTARIOS / BROCAS PROPUESTAS |
|--------------|-------------------------------|--------------------------|------------|---|--|
| 0 | | | | | |
| 1000' | | | 12 1/4" | HC605Z |   |
| 2000' | | HCM605ZX | | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>12 1/4" HC605Z LINÉA GÉNESIS 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div> | |
| 3000' | | TERCIARIO INDIFERENCIADO | |   | |
| 4000' | | | | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>12 1/4" HCM605ZX LINÉA GÉNESIS 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div> | |
| 5000' | | | | HCM605ZX (R) | |
| 6000' | | ORTEGUAZA | 8 1/2" | HC605S |  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" HC605S LINÉA GÉNESIS CUERPO DE ACERO, 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div> |
| 7000' | | TIYUYACU | | GX-09 |  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" GX-09 LÍNEA GX, TRICONICA DE INSERTOS DE CARBURO DE</p> </div> |
| 8000' | | TENA | | HCM506Z | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" HCM506Z LINÉA GÉNESIS 6 ALETAS, CORTADORES DE 16 mm.</p> </div> |
| | | NAPO | | | |
| | | HOLLIN | | | |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BROCAS SELECCIONADAS CAMPO VHR⁶

Cada broca seleccionada es descrita con sus características técnicas, a continuación se presentan estas características, la foto de las brocas, ver figuras 3.16 hasta 3.20, y la tabla de los requerimientos hidráulicos de cada una basados en la simulación, ver tablas 3.10 hasta 3.15.

Por ejemplo, la tabla 3.10, tiene en la parte superior información como: diámetro de la broca, caudal, densidad del fluido de perforación, diámetro y número de boquillas de la broca. En la parte inferior de la tabla, se encuentra los parámetros de la hidráulica como: área total de flujo, caída de presión en la broca, caballaje hidráulico por pulgada cuadrada, velocidad del fluido en la boquilla, fuerza de impacto. Estos parámetros se calculan con el programa de simulación hidráulica, basado en las formulas del subcapítulo 1.5, optimizando la fuerza de impacto.

3.8.1 SECCIÓN DE 12.25’’

3.8.1.1 HC605Z

Esta broca fue seleccionada por su excelente desenvolvimiento entre los pozos estudiados.

Broca con IADC M323, de la línea Génesis para perforaciones de pozos direccionales, tiene 5 aletas y en total 75 cortadores a lo largo de todas estas, cada cortador tiene un tamaño de 19 milímetros ($6=3/4$ [in]), cortadores cenit, sus siete boquillas ayudan a que los requerimientos hidráulicos de la perforación se cumplan y de esta manera optimizar la perforación con altas ratas de penetración.

A esta profundidad la broca tiene que trabajar con parámetros controlados, ya que si aumentamos el caudal del lodo podíamos dañar la formación. A esto se debe el HSI tan bajo.

⁶ Información tomada de las especificaciones técnicas: BAKER HUGHES, 2012.

Esta broca va a atravesar el Terciario Indiferenciado, la litología de estas formaciones básicamente cuenta con cantos rodados (Conglomerados superficiales) y Arcillolita.

FIGURA 3.16 BROCA DE 12.25'' HC605Z



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 3.10 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605Z

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 200 | 8.5 | 12 | 7 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.773 | 52.201 | 6.091 | 0.052 | 82.778 | 72.913 | 0.617 |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.1.2 HCM605ZX

De similares características que la broca HC605Z pero proporciona mayor control en la cara de la herramienta y tasas de penetración más altas, broca PDC con IADC M223, de la línea génesis, motor direccional, de cinco aletas, con

cortadores de 0.75 (19.0mm) cuenta con siete boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 37 [klbs]. El área de desalojo de residuos es de 37.8 pulgadas, se recomienda utilizar de 550 a 1200 [gpm] para lograr el mejor rendimiento posible de la broca.

Realiza la parte final del Terciario Indiferenciado y atraviesa la primera sección de la formación Orteguzza, la litología que va a atravesar es de Arcillolita, Limolita, Arenisca, Anhidrita.

TABLA 3.11 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 850 | 9.6 | 12 | 8 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.884 | 815.321 | 404.331 | 3.422 | 307.830 | 1301.498 | 11.015 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.17 BROCA DE 12.25" HCM605ZX



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

**TABLA 3.12 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX
(REUTILIZADA)**

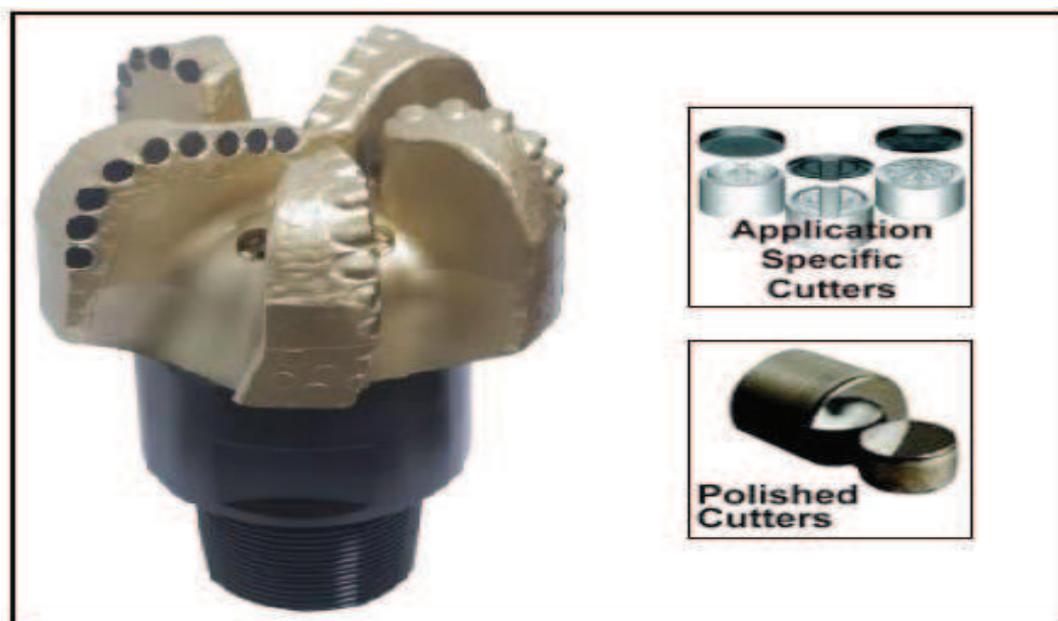
| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 12.25 | 920 | 10.1 | 13 | 8 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 1.037 | 729.572 | 391.602 | 3.314 | 283.893 | 1366.807 | 11.567 |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.2 SECCIÓN DE 8.5''

3.8.2.1 HC605S

FIGURA 3.18 BROCA DE 12.25'' HC605S



FUENTE: Baker Hughes.

ELABORADO POR: Baker Hughes.

Broca PDC de cuerpo de acero con IADC S223, de la línea Génesis de cinco aletas, con cortadores de 19 mm (6=3/4 [in]), cuerpo de acero cuenta con siete boquillas que da una hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco. El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 37 [klbs].

El sistema de corte de la broca reduce las fuerzas de cizallamiento, mejora significativamente la eliminación de recortes y de esta manera logra altas tasas de penetración. Sus cortadores ofrecen muy buena resistencia a la abrasión y son especialmente diseñados para cada tipo de perforación.

La tasa de flujo hidráulica recomendada está en un rango de 550 a 1200 [gpm]. El JSA es de 48.5 pulgadas.

Realiza la parte final de la formación Orteguaza y atraviesa el conglomerado superior de la formación Tiyuyacu, la litología que va a atravesar es de Lutita, Arcillolita, Conglomerado (muy duro), Arenisca, Limolita.

TABLA 3.13 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605S

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 8.5 | 550 | 10.1 | 16 | 3 | | |
| Hidráulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.589 | 808.070 | 259.299 | 4.558 | 298.776 | 859.949 | 15.116 |

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.2.2 GX-09

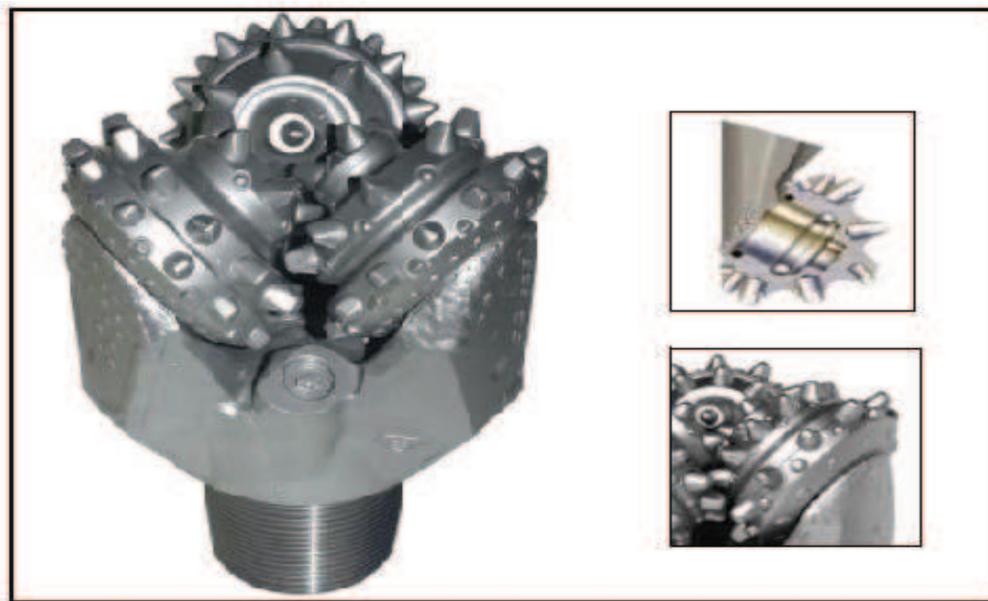
Broca tricónica de insertos de carburo de tungsteno con código IADC 437, línea de producto GX, diseñada para soportar grandes cantidades de carga de trabajo y tienen un tiempo de vida útil mayor en comparación con brocas tricónicas de dientes normales, tanto en rotación y aplicaciones de motores.

El peso que se puede aplicar está en un rango de 22.5 a 55 [klbs]. Esta broca va a atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu.

TABLA 3.14 HIDRAULICA BROCA TIPO GX-09

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 8.5 | 600 | 10.2 | 18 | 3 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.746 | 606.310 | 212.244 | 3.731 | 257.531 | 816.626 | 14.355 |

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.19 BROCA DE 12.25" GX-09

FUENTE: Baker Hughes
 ELABORADO POR: Baker Hughes

3.8.2.3 HCM506Z

Broca PDC diseñada para perforar formaciones duras y abrasivas constantemente en las altas tasas de penetración, con código IADC M223, de la línea Génesis, de seis aletas, cortadores de 16 mm (5=5/8 [in]), cortadores cenit, cuenta con seis boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 30 [klbs], la tasa de flujo hidráulica recomendada está en un rango de 300 a 750 [gpm]. El JSA es de 16.3 pulgadas.

Para mejorar la estabilidad de la broca, cuenta con tecnología LMN (mitigador de movimiento lateral) que reduce considerablemente la vibración y protege a los cortadores localizados en los hombros de la broca de los grandes impactos.

Esta broca va a perforar la sección final del pozo, atravesando las formaciones Tena, Napo, Hollin y el Pre-Cretácico, con litología Arenisca, Limolita y Arcillolita.

FIGURA 3.20 BROCA DE 8.5'' HCM506Z



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 3.15 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM506Z

| Información | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-------------|---------------|--------------------|
| Dbroca [in] | Q [gpm] | ρ [lb/gal] | Dn1 [1/32 in] | N1 | Dn2 [1/32 in] | N2 |
| 8.5 | 500 | 10.4 | 12 | 6 | | |
| Hidraulica de la broca | | | | | | |
| TFA [in ²] | ΔP_b [psi] | hhpb | hhpb/in ² | Vn [ft/seg] | IF | IF/in ² |
| 0.663 | 543.338 | 158.500 | 2.786 | 241.435 | 650.499 | 11.434 |

ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El análisis económico, está orientado a obtener la reducción de costos de perforación que se alcanza mediante la aplicación de los programas de brocas sugeridos en el capítulo tres, siendo este, el beneficio económico más importante del proyecto.

Para calcular los costos de perforación se toma en cuenta dos campos distintos: los costos diarios del equipo de perforación y los costos de los elementos adicionales necesarios para la perforación.

Los costos de los elementos adicionales no dependen del tiempo que dure la perforación, es decir no varían, y dentro de estos se incluyen las brocas de perforación, movilización, registros eléctricos, control litológico, tubería de revestimiento.

Los costos diarios de perforación como su nombre indica, dependen del tiempo en el que se realizan los trabajos de perforación. Entre estos tenemos la mano de obra (torre perfil), fluidos de perforación, perforación direccional y el rol de la compañía. Son estos los que dan como resultado el ahorro que representa la aplicación de la metodología de selección de brocas.

El tipo de contrato con las compañías proveedoras de brocas se realiza por "Suma Global" o "Lump Sum", es decir que se paga un solo valor por todas las brocas que se necesite para llevar a cabo el trabajo de perforación. De esta manera, la disminución en los gastos de perforación no se da por la utilización de menos brocas, si no por reducir el tiempo de perforación del pozo.

El ahorro de costos, se determina mediante la comparación de un pozo real con los pozos propuestos.

4.2 COSTOS CAMPO CUYABENO

Para realizar el análisis de costos de perforación de un pozo real del campo Cuyabeno, se utiliza el pozo Cuyabeno 32D, el tiempo de perforación de este pozo es de 16 días.

La tabla 4.1, muestra los costos de perforación del pozo Cuyabeno 32D. Con estos datos se calcula el costo diario de perforación con la siguiente fórmula.

$$CDP = \frac{\text{Costos diarios del equipo de perforación}}{\text{Tiempo total}} \quad (4.1)$$

TABLA 4.1 COSTOS POZO CUYABENO 32D⁷

| Costos de perforación Cuyabeno 32D | |
|---|-------------------|
| ACTIVIDAD | MONTO [USD] |
| Mano de obra (Torre perfil) | 863750.80 |
| Fluidos de perforación | 168823.98 |
| Perforación direccional | 242958.96 |
| Rol de la compañía | 17850.00 |
| Brocas | 115000.00 |
| Movilización | 127822.74 |
| Cementación | 156558.27 |
| Otros cargos, trabajo contratado y de la compañía | 9754.92 |
| Registros eléctricos | 111884.64 |
| Control litológico | 18954.00 |
| Catering | 751.02 |
| Tubería de revestimiento | 263652.05 |
| TOTAL | 2097761.38 |

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

⁷ Datos tomados del reporte de costos de perforación del pozo Cuyabeno 32D.

Por lo tanto aplicando la fórmula 4.1, el costo de perforación diario para el campo Cuyabeno es:

$$CDP = \frac{863750.8 + 168823.98 + 242958.96 + 17850}{16}$$

$$CDP = 80836.48 \text{ USD}$$

4.2.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO

Para obtener el tiempo de perforación del pozo modelo es necesario sumar los tiempos de perforación de cada broca mas el tiempo de viaje cada vez que se realice un cambio de broca mas el tiempo de asentamiento de casing a las profundidades programadas.

La tabla 4.2, contiene en la primera columna el tipo de la broca seleccionada, en la segunda y tercera columna se pueden observar las profundidades a la cuales van a llegar cada broca y las formaciones que atraviesan respectivamente, seguido de el numero de pies perforados en la cuarta columna.

El análisis de tiempos de perforación, se encuentra en la quinta columna. El tiempo de perforación representa el intervalo que se demora cada broca en atravesar la totalidad de los pies programados para perforar en cada sección y están calculados con los ROPs estimados para cada una y estos están ubicados en la sexta columna de la tabla.

Los parámetros de perforación como el peso sobre la broca y las RPMs están en la séptima y octava columna respectivamente y cumplen con las recomendaciones técnicas de cada broca así como también con las magnitudes empleadas en los pozos analizados.

Existen dos tipos de costo de broca en esta tabla, el costo de la broca propiamente dicho producto del contrato Lump Sum, que en el caso de la

empresa National Oilwell Varco es de 115.000 [USD] por todo el programa de brocas y el segundo tipo de costo es el que representa la broca por cada pie que perfora, se lo calcula con la fórmula 2.15.

El tiempo de viaje, representa el intervalo de horas que transcurre desde el momento que está armado el BHA en superficie hasta que llega a la profundidad a perforar, de la misma manera se toma el tiempo desde que se termina de perforar una sección determinada hasta que la broca llega a superficie para ser reemplazada por una broca de distintas características acorde a las necesidades de la nueva formación.

La figura 4.1, es la representación gráfica de la tabla 4.2, la figura 4.2, constituye el tiempo de perforación del pozo modelo para el campo Cuyabeno.

Los trabajos en la primera sección del pozo, correspondiente a 26", es decir los primeros 330 [ft] conjuntamente con el asentamiento del casing de 20", tomarán un tiempo aproximado de 24 [hrs].

La sección de 16", se perfora en 0.7 días, la perforación llega hasta 4858 pies de profundidad.

La sección intermedia de 12 ¼", y todos los trabajos que involucra la perforación, incluyendo cambios de brocas, asentamiento del casing de 9 5/8", se llevara a cabo en 10 [días].

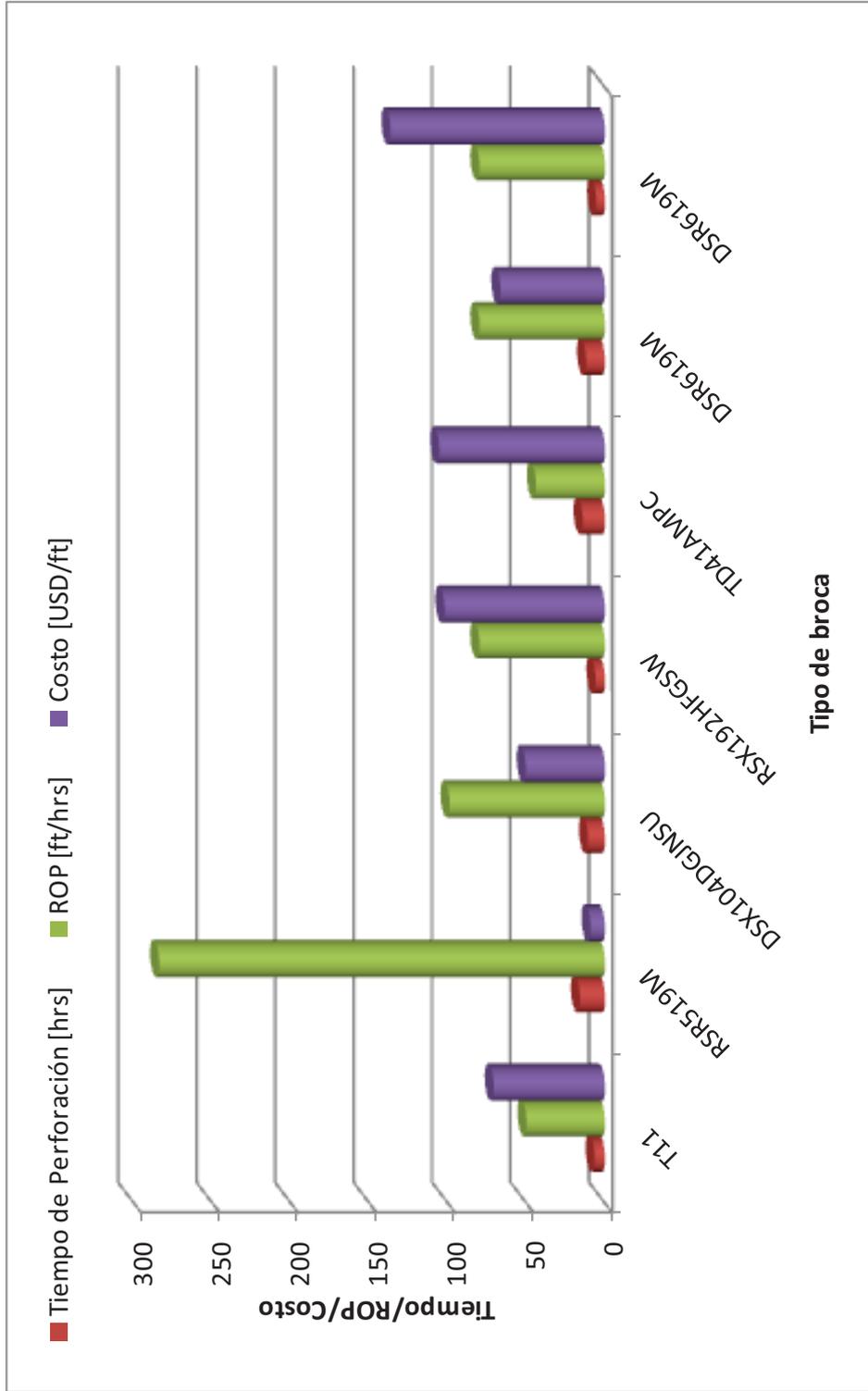
Finalmente, los trabajos en la sección de 8 ½" toma un tiempo de 3 días más, para cerrar toda la perforación del pozo en un tiempo estimado de 14 [días], que representa el menor tiempo en el que se ha perforado un pozo de petróleo en el campo Cuyabeno.

TABLA 4.2: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO CUYABENO

| Tipo de Broca | Profundidad de Salida TVD [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] |
|---------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| T11 | 330 | TID | 330 | 7 | 50 | 12 | 40 | 11,500 | 0 | 71 |
| RSR519M | 4,854 | TID | 4,524 | 16 | 284 | 14 | 60 | 11,500 | 1 | 9 |
| DSX104DGJNSU | 5,928 | TID/ORT | 1,074 | 11 | 99 | 14 | 60 | 17,250 | 10 | 51 |
| RSX192HFGSW | 6,412 | TIY | 484 | 6 | 80 | 12 | 60 | 17,250 | 12 | 102 |
| TD41AMPC | 7,036 | TIY | 624 | 14 | 44 | 10 | 40 | 17,250 | 13 | 106 |
| DSR619M | 8,000 | TIY/TEN/NAP | 964 | 12 | 80 | 12 | 60 | 17,250 | 14 | 67 |
| DSR619M | 8,454 | NAP/HLLN/PR-C | 454 | 6 | 80 | 12 | 60 | 23,000 | 16 | 137 |

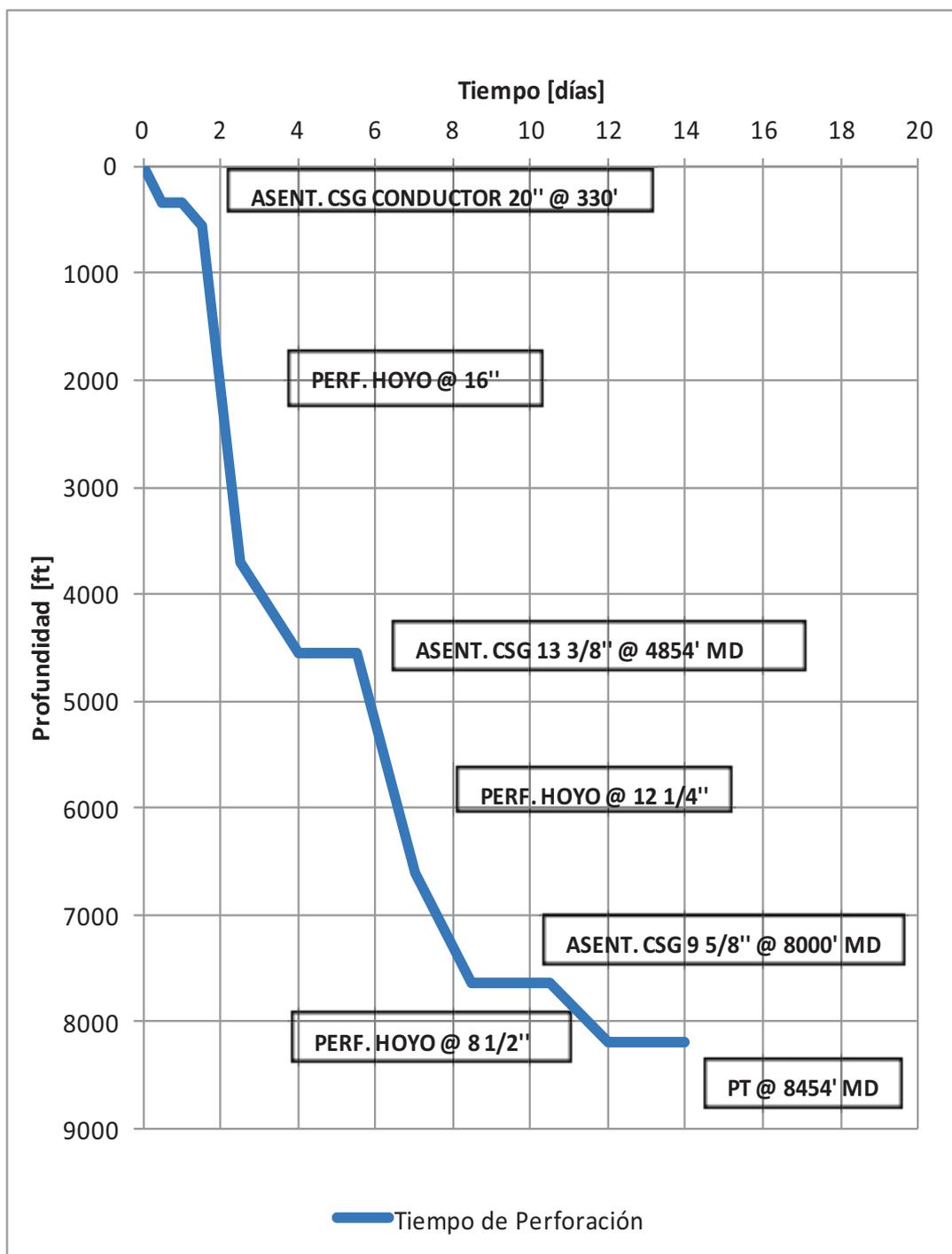
ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 4.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO CUYABENO



ELABORADO POR: Walter Haro

**FIGURA 4.2 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO
MODELO CAMPO CUYABENO**



ELABORADO POR: Walter Haro

4.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar si el proyecto es viable se realizó una comparación entre los costos de perforación de un pozo real versus los costos del pozo modelo.

El costo total de perforación del pozo modelo es:

$$CPT = CEAN + CDP * tp_{\text{pozo modelo}} \quad (4.2)$$

Donde:

CPT= Costo perforación total.

CEAN= Costo de los elementos adicionales necesarios.

$tp_{\text{pozo modelo}}$ = Tiempo de perforación del pozo modelo.

Para calcular el costo total del pozo modelo se utiliza la fórmula 4.2.

$$CPT = 804377.64 + 80836.48 * 14$$

$$CPT = 1936088.41 \text{ USD}$$

El ahorro que origina el emplear la metodología de selección de brocas entre un pozo real y un pozo modelo es:

$$A = CPT_{\text{pozoreal}} - CPT_{\text{pozomodelo}} \quad (4.3)$$

$$A = 2097761.38 - 1936088.41$$

$$A = 161672.97 \text{ USD}$$

4.3 COSTOS CAMPO VHR

De la misma manera que en el campo Cuyabeno, se toma un pozo del campo VHR para realizar la comparación de costos, en este caso el pozo VHR 12D que fue perforado en un tiempo de 18 días. Con los datos de la tabla 4.3 y la fórmula 4.1 se calculó el costo de perforación diario del pozo real.

TABLA 4.3 COSTOS POZO VHR 12D⁸

| Costos de perforación VHR 12D | |
|---|-------------------|
| ACTIVIDAD | MONTO [USD] |
| Mano de obra (Torre perfil) | 1112079.00 |
| Fluidos de perforación | 265704.66 |
| Perforación direccional | 430603.86 |
| Rol de la compañía | 22100.00 |
| Brocas | 149220.00 |
| Movilización | 127822.74 |
| Cementación | 51110.50 |
| Otros cargos, trabajo contratado y de la compañía | 30202.00 |
| Registros eléctricos | 86000.00 |
| Control litológico | 24620.00 |
| Catering | 6352.13 |
| Tubería de revestimiento | 270851.70 |
| TOTAL | 2576666.59 |

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

$$CDP = \frac{1112079.00 + 265704.66 + 430603.86 + 22100.00}{18}$$

$$CDP = 101693.75 \text{ USD}$$

4.3.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO

La tabla 4.4 contiene en la primera columna el tipo de la broca seleccionada, en la segunda y tercera columna se detallan las profundidades a la cuales van a llegar las brocas y las formaciones que atraviesan cada una de ellas, seguido de el numero de pies perforados en la cuarta columna.

⁸ Datos tomados del reporte de costos de perforación del pozo VHR 12D.

El análisis de tiempos de perforación se encuentra en la quinta columna. El tiempo de perforación representa el intervalo que se demora cada broca en atravesar la totalidad de los pies programados para perforar en cada sección y están calculados con los ROPs estimados para cada una y estos están ubicados en la sexta columna de la tabla.

Los parámetros de perforación tales como el peso sobre la broca y las RPMs están en la séptima y octava columna respectivamente y cumplen con las recomendaciones técnicas de cada broca así como también con las magnitudes empleadas en los pozos analizados. El costo de la broca propiamente dicho producto del contrato Lump Sum, que en el caso de la empresa Baker Hughes es de 149.220 [USD] por todo el programa de brocas.

El tiempo de viaje representa el intervalo de horas que transcurre desde el momento que está armado el BHA en superficie hasta que llega a la profundidad a la que va a empezar a perforar, de la misma manera se toma el tiempo desde que se termina de perforar una sección determinada hasta que la broca llega a superficie para ser reemplazada por una broca de distintas características acorde a las necesidades de la nueva formación. El costo de perforación por pie es el que representa la broca por cada pie que perfora, se calcula con la fórmula 2.15 y está en la décima primera columna.

La figura 4.3, es la representación gráfica de la tabla 4.4, la figura 4.4, constituye el tiempo de perforación del pozo modelo para el campo Víctor Hugo Ruales.

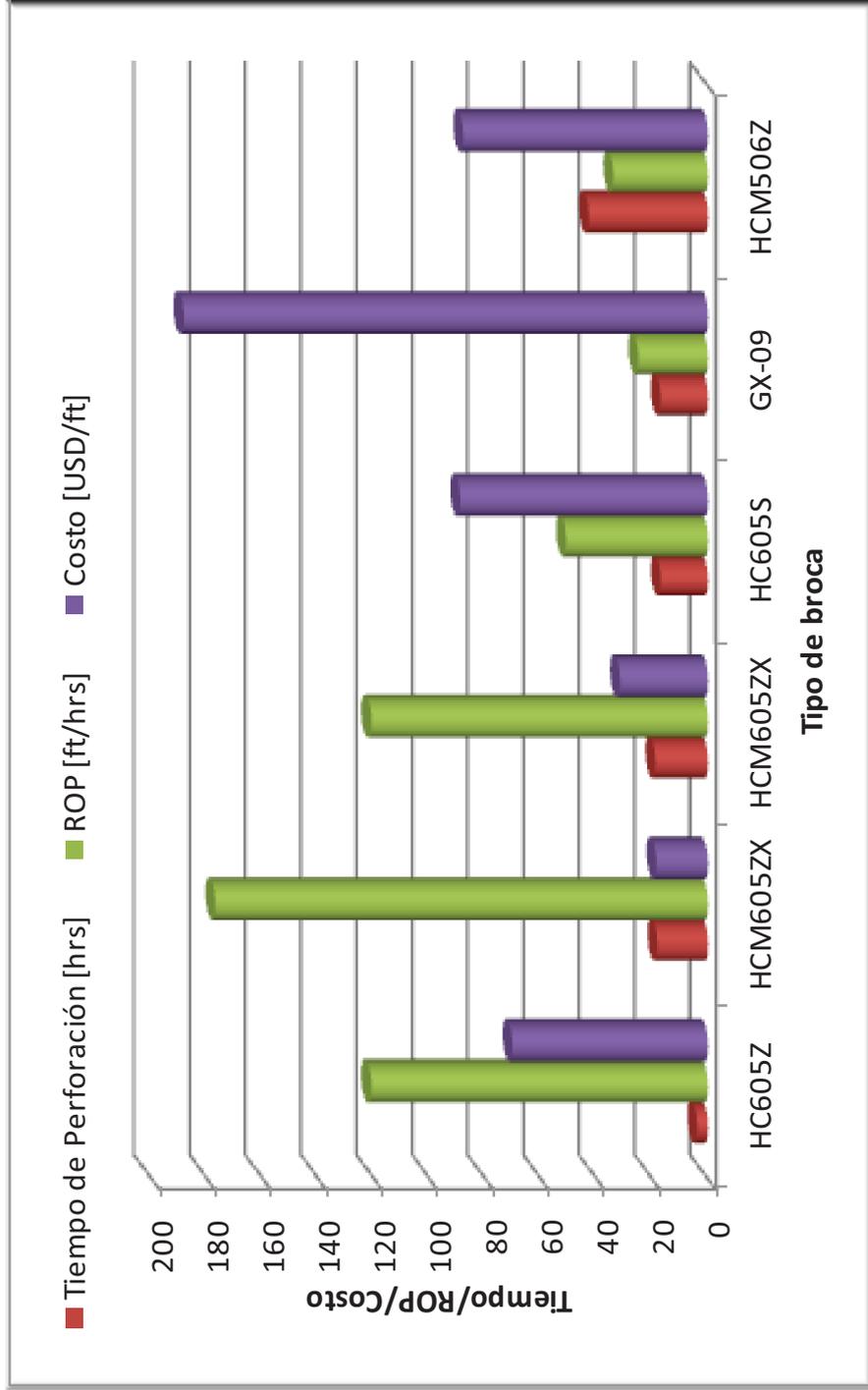
La sección de 12 ¼", y todos los trabajos que involucra la perforación, incluyendo cambios de brocas, asentamiento del casing de 9 5/8", se llevara a cabo en 6 [días]. Finalmente, los trabajos en la sección de 8 ½" se llevan a cabo en un tiempo de 8 días, para culminar toda la perforación en un tiempo estimado de 14 días, que representa el menor tiempo en el que se ha perforado un pozo de petróleo en el campo VHR.

TABLA 4.4: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO VHR

| Tipo de Broca | Profundidad de Salida MD [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] |
|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| HC605Z | 450 | TID | 450 | 4 | 121 | 5 | 50 | 24,870 | 0.00 | 70.13 |
| HCM605ZX | 3,650 | TID | 3,200 | 18 | 177 | 12 | 60 | 24,870 | 0.90 | 18.44 |
| HCM605ZX | 5,928 | TID/ORT/TIY | 2,278 | 19 | 121 | 15 | 60 | 24,870 | 7.30 | 31.55 |
| HC605S | 6,787 | TIY | 859 | 17 | 51 | 15 | 40 | 24,870 | 11.86 | 89.06 |
| GX-09 | 7,210 | TIY | 423 | 17 | 25 | 15 | 50 | 24,870 | 13.57 | 188.48 |
| HCM506Z | 8,660 | TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,450 | 43 | 34 | 22 | 60 | 24,870 | 14.42 | 87.95 |

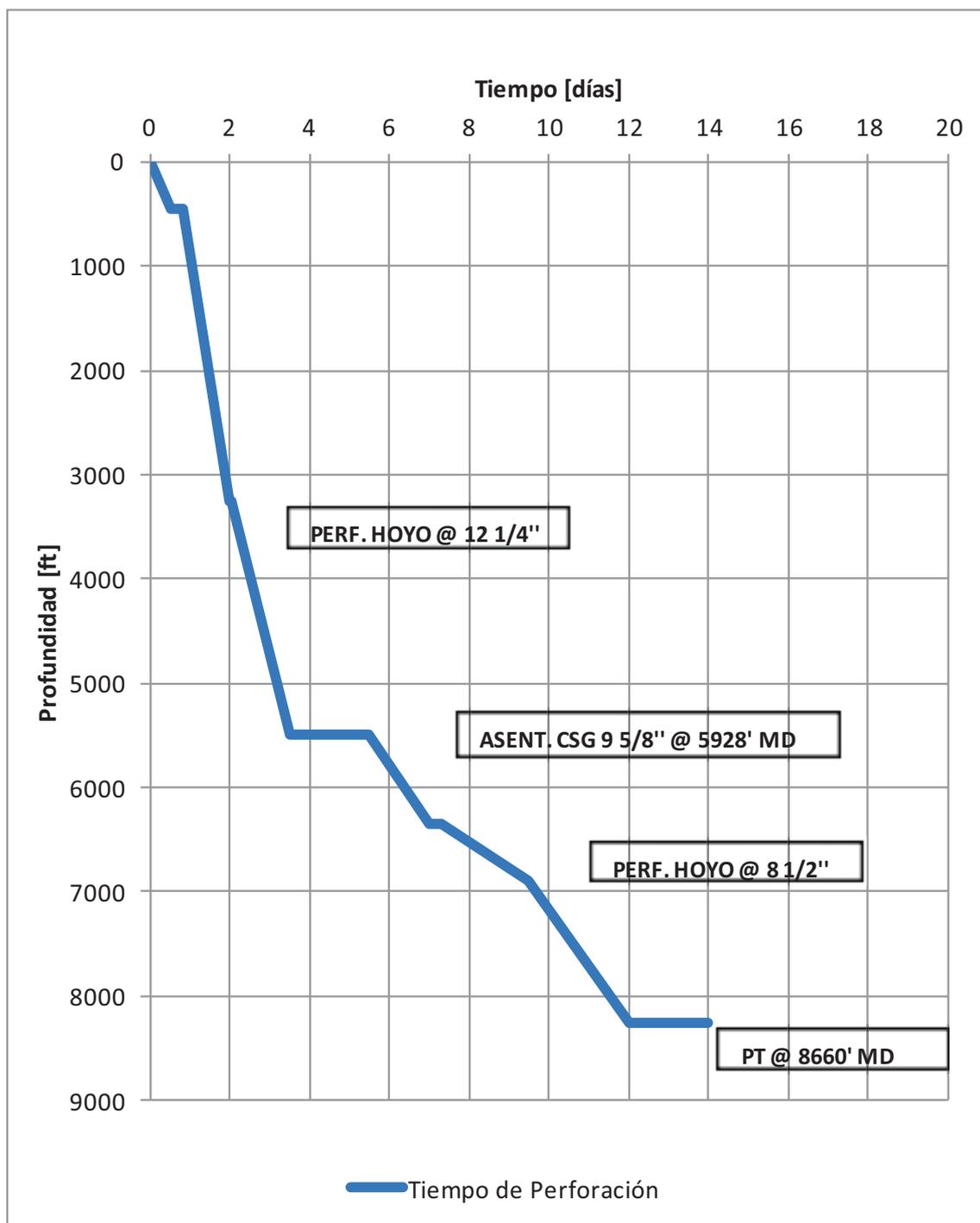
ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 4.3 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO VHR



ELABORADO POR: Walter Haro

**FIGURA 4.4 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO
MODELO CAMPO V.H.R.**



ELABORADO POR: Walter Haro

4.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo de perforación total del pozo modelo en el campo VHR aplicando el método de selección de brocas es de 14 días.

El costo total de perforación del pozo modelo para el campo VHR se calcula aplicando la fórmula 4.2.

$$CPT = 618356.33 + 101693.75 * 14$$

$$CPT = 2042068.85 \text{ USD}$$

Para determinar si el proyecto es viable se realiza una comparación entre los costos de perforación de un pozo real versus los costos del pozo modelo. El ahorro que origina el emplear la metodología de selección de brocas entre un pozo real y un pozo modelo se determina aplicando la fórmula 4.3:

$$A = 2576666.59 - 2042068.85$$

$$A = 534597.74 \text{ USD}$$

La tabla 4.5, contiene el costo de perforación de los pozos reales y pozos modelo de los campos Cuyabeno y Víctor Hugo Ruales, así como el ahorro en dólares y el porcentaje de reducción que representa utilizar la metodología de selección de brocas.

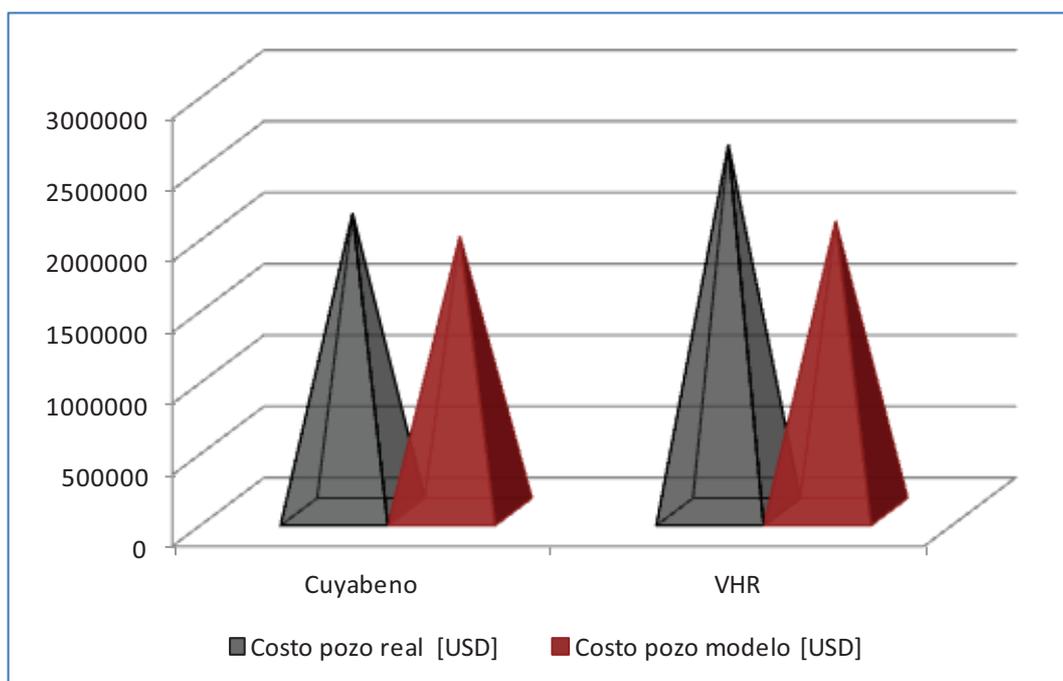
TABLA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO

| Campo | Costo pozo real | Costo pozo modelo | Ahorro | Reducción |
|----------|-----------------|-------------------|-----------|-----------|
| | [USD] | [USD] | [USD] | (%) |
| Cuyabeno | 2097761.38 | 1936088.41 | 161672.97 | 7.71 |
| VHR | 2576666.59 | 2042068.85 | 534597.74 | 20.75 |

ELABORADO POR: Walter Haro

En la figura 4.5, se observa en el campo Cuyabeno y en el campo VHR existe un ahorro en los costos de perforación en los pozos modelo, pozos planificados mediante la metodología de selección de brocas.

FIGURA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO



ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El método de selección de brocas mediante el cálculo de la energía mecánica específica, es confiable para evaluar distintos tipos de brocas de perforación, intervienen los parámetros más influyentes dentro de una perforación como son: la rata de penetración, el peso sobre la broca y la velocidad de la rotaria, directamente son indicadores de la eficiencia de la perforación de un pozo.
- Durante la planificación de la perforación de un pozo, los datos que se obtienen de los registros de brocas de pozos perforados anteriormente en el campo como: tipo de broca, intervalos de perforación, tiempo de perforación, peso sobre la broca, velocidad de rotación, torque, litología, entre otros, son importantes para seleccionar las brocas de mejor rendimiento y de esta manera tratar de garantizar un óptimo desarrollo de las nuevas campañas de perforación dentro del campo.
- En el campo Cuyabeno y en el campo VHR, los primeros 200 [ft] del pozo pertenecientes al terciario indiferenciado, que es una zona de cantos rodados, fueron perforados con brocas tricónicas de dientes de acero, fracturando la roca por compresión.
- En las formaciones: Tena, Basal Tena, Napo y Hollin es necesario tener brocas PDC de cortadores grandes para obtener la máxima rata de penetración posible (ROP) y de esta manera poder evitar el rápido hinchamiento de sus arcillas, además de brindar un buen diseño hidráulico y una gran área de desalojo. Ver tabla 2.13, la broca de 19mm tiene mejor desempeño que las brocas de 16mm.

- El conglomerado inferior Tiyuyacu, se perfora con broca tricónica de insertos de carburo de tungsteno por la gran resistencia que tiene a la dureza de la roca y a la abrasión y además por el alto ROP que alcanza en dicha formación. Si se utiliza una broca PDC en esta formación, los cortadores se desgastarían y astillarían prematuramente, por lo que se haría primordial un control de parámetros. Ver tabla 2.12 y la evaluación de desgaste de la broca DSR619S, anexo 1, pozo CUY 33D.
- Tanto en brocas tricónicas como en brocas PDC, para obtener un ROP óptimo, se debe aplicar peso sobre la broca antes que aumentar la velocidad rotaria, caso contrario se desestabilizaría la broca y provocaríamos retrasos en la perforación de un pozo de petróleo. Ver figura 3.8.
- El costo de perforación por pie, es un parámetro que envuelve directamente algunos de los gastos involucrados con la perforación como el costo del RIG y el costo de la broca, además de los tiempos que intervienen al momento de perforar como son el tiempo de perforación propiamente dicho y el tiempo de viaje de la broca, en cada uno de los intervalos, por lo cual el costo por pie varía dependiendo de la profundidad a la que se encuentren los trabajos. Ver fórmula 2.1.
- La selección de estos programas de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, logra planificar la perforación de nuevos pozos de petróleo en catorce días, que representa el menor tiempo en que se ha realizado una perforación en estos campos. Ver figuras 4.2 y 4.4.
- Cuando la información útil para realizar un análisis con el fin de seleccionar una broca sea limitada, tener en cuenta aspectos básicos del diseño de una broca y de la geología del campo, es decir, una roca con alta dureza no puede ser perforada con brocas de elementos de ataque de menor dureza y de la misma manera una roca suave no va a ser perforada con eficiencia si la broca está diseñada para formaciones de mayor dureza.

5.2 RECOMENDACIONES

- Estudiar la mayor cantidad de registros de brocas de pozos perforados posibles para obtener un campo de selección de brocas más amplio, con nuevas tecnologías de brocas, de esta manera planificar el programa de brocas más adecuado para la perforación de un nuevo pozo de petróleo.
- Para perforar el primer intervalo, desde la superficie hasta 330 pies, se debe utilizar broca tricónica, como muestra la tabla 2.8, los registros de brocas muestran que los cortadores de las brocas PDC utilizadas para perforar esta sección en el campo VHR, se ha observado un gran desgaste de sus cortadores, producto de los cantos rodados.
- Para obtener un alto ROP en el Terciario indiferenciado en la sección de 16", utilizar una broca RSR519M, de 5 aletas, cortadores de 19 mm, cuerpo de matriz, con un área de desalojo de residuos suficientemente grande para llegar a la formación Orteguaza de manera óptima, como se observa en la tabla 2.8 y en la figura 2.9, del pozo CUY 33D.
- Para atravesar el Conglomerado inferior Tiyuyacu se recomienda utilizar una broca con insertos de carburo de tungsteno debido a la resistencia que esta formación ofrece, determinando correctamente los topes con el propósito de perforar con seguridad dentro del intervalo y optimizar los parámetros operacionales, como se observa en la tabla 2.11 y en la figura 2.12.
- Para la sección de 8.5" se recomienda usar la broca DSR619M, broca PDC para pozos direccionales, 6 aletas, cortadores de 19 mm y cuerpo de matriz, como se indica en la tabla 2.12, tiene alta resistencia a la abrasión por sus propiedades térmicas, ideal para atravesar las intercalaciones de dureza de las formaciones Napo, Hollin y Pre cretácico.

- En el campo VHR, la broca PDC tipo HCM605ZX, de 5 aletas y cortadores de 19mm, perfora en dos intervalos. Para cumplir con los parámetros de optimización de la hidráulica de la broca, aumentar el diámetro de las boquillas para la formación de Orteguzza a 13 1/32 de pulgada, en el terciario indiferenciado perforar con boquillas de 12 1/32 de pulgada, ver las tablas 3.12 y 3.13, del subcapítulo 3.8.1.2.
- Para la última sección del pozo del campo VHR se recomienda utilizar la broca tipo HCM506Z, como se observa en la tabla 2.18, tiene 6 aletas y cortadores de 16 mm, cuenta con un sistema de amortiguadores de impacto para disminuir el astillamiento en el frente de ataque. Ver figura 3.20.
- Aplicar el programa de brocas recomendado para cada campo, proporciona mejores tasas de penetración en cada formación y demuestra que existe un ahorro de gastos para el campo Cuyabeno-VHR, de 161.672,97 [USD] y 534.597,74 [USD] respectivamente, debido a la disminución del tiempo de perforación de cada pozo. Ver tabla 4.5.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HUGUES CHRISTENSEN. "Drill bit foundation", Versión 4-04.
2. "Barrenas e hidráulica de perforación", PDF.
3. Baker Hughes INTEQ. "Manual de ingeniería", Julio 2001.
4. WILLIAM E. JACKSON. "Making Hole", Tercera Edición, Huston, Texas, 2000.
5. KATE VAN DYKE. "The Bit", Cuarta Edición, Huston, Texas, 1995.
6. RABIA HUSSAIN. "Specific Energy as a Criterion for bit selection", SPE paper 12355, Journal of Petroleum Technology, Julio 1985.
7. HAWKER DAVID. "Procedimientos y operaciones en el pozo", Versión 3.0, Marzo 2001.
8. EP PETROECUADOR "Recaps técnicos RIG CPEB 70128", Campaña de perforación 2008-2010.
9. BAKER HUGUES, Especificaciones técnicas de brocas, 2012.
10. NOV DOWNHOLE, Especificaciones técnicas de brocas, 2012.
11. GLOSSARY OF THE PETROLEUM INDUSTRY. Segunda Edición, 1982.

ANEXOS

ANEXO No 1

**REGISTRO DE BROCAS DE LOS POZOS ANALIZADOS
DEL CAMPO CUYABENO-VHR**

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 28D

| GEOGRAPHIC LOCATION | | OPERATOR | SPUD DATE: | TO DATE: | DILL CHARACTERISTICS | | | | | | | | | | | | WELL TYPE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|------------------|-----------------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------|-----------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|------|---------------|-----------|------|------------|------|---------|----------|---------|----------|------------|----------|---------|--------|--------|
| Ecuador - Sucumbios | | PETROPRODUCCION | 24-Feb-2009 | 02-Mar-2009 | EC - Broken Core | EF - Flood Fill | BT - Broken Teeth | DESEROLLO | | | | | | | | | | | | INYECCION | | | | | | | | | | | | | |
| FIELD / AREA | | WELL | WELL TYPE: | WORK TYPE: | DI - Core Intolerance | CC - Cracked Core | CC - Cone Drag | EXPLOSTORNO | | | | | | | | | | | | DIARO | | | | | | | | | | | | | |
| CUYABENO | | CUYABENO-28D | Directional "S" | HCC OFFER: | FC - Flat Chisel Vial | LC - Lost Core | LN - Lost Nozzle | CONENAZO | | | | | | | | | | | | LLAVE EN MANO | | | | | | | | | | | | | |
| LATITUDE | | CONTRACTOR / RIG | TURKEY CO. | LUMP SUM | LF - Lost Teeth/Cutters | OC - Off Center Vial | PI - Picked Bit | FORMACION | | | | | | | | | | | | PERFORADO | | | | | | | | | | | | | |
| 0° 1' 34.512" North | | CPEB 70128 | PETROPRODUCCION | TARGET FM: | PN - Plugged Nozzles | RG - Rounded Gauge | RI - Ring Out | LLAVE EN MANO | | | | | | | | | | | | PERFORADO | | | | | | | | | | | | | |
| LONGITUDE | | DIRECTIONAL CO.: | Schlumberger | MILD CO.: | SD - Stalled Damage | SS - Set Shaping Vial | TR - Trailing | PERFORADO | | | | | | | | | | | | PERFORADO | | | | | | | | | | | | | |
| 78° 18' 52.457" West | | | | Mi Sraico | VG - Vial Out Bit | VT - Vial Teeth/Center | MD - No Drill Characteristics | PERFORADO | | | | | | | | | | | | PERFORADO | | | | | | | | | | | | | |
| No. | SIZE | MFG | TYPE | IADC | BIT INFORMATION | | DEPT H | DEPT V | NET HRS | NET ROP | HRS | IADC | ROP | HRS | IADC | ROP | RPM | RPM ROT | VOB | PUMP PRESS | FLOW RATE | TQ | FEET SLIDE | TIME | % SLIDE | PDM TYPE | PDM ACO | PDM FACT | FORMATIONS | | SURVEYS | | |
| | | | | | BLADES | CUTTER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MEZLS | DATE OUT | NAME | LITH | INCL |
| 1 | 12 1/4" | HCC | GT-1 | 117 | TRICONE | ST | 3x16 | 6063335 | 8-Feb-09 | 315 | 306 | 4.43 | 7110 | 2-15 | 60 | 215 | 220 | 250 | 1-2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | TD | CUI | 0.86 | 296.9 | |
| 2 | 12 1/4" | HCC | QD665X | M323 | 5 | 15mm | 7x11 | 7014548 | 8-Feb-09 | 3377 | 3062 | 54.41 | 36.47 | 1-16 | 60 | 215 | 3200 | 860 | 1-7 | 890 | 7.03 | 35 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | TD | CUI | 33.77 | 250.3 | |
| 2R | 12 1/4" | HCC | QD665X | M323 | 5 | 15mm | 7x13 | 7014548 | 24-Feb-09 | 5127 | 1790 | 14.4 | 5153 | 25.67 | 6817 | 215 | 3200 | 870 | 7-11 | 636 | 8.4 | 58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | TD | CUI | 8.94 | 244.7 | |
| SECCION 12 1/4" HRS ON BOTTOM (hrs) = 37.68 ROP ON BOTTOM (FT/H) = 136.07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 8 1/2" | HCC | HC504ZX | M223 | 4 | 16mm | 6x12 | 7112911 | 26-Feb-09 | 8713 | 1586 | 50.01 | 36.58 | 57.96 | 1-17 | 40-50 | 125-154 | 2600 | 550 | 2-20 | 114 | 2.55 | 14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | TD | CUI | 0.79 | 222.74 |
| 4 | 8 1/2" | HCC | GT-509 | 437 | TRICONE | TD | 3x16 | 5096538 | 26-Feb-09 | 7655 | 342 | 14.30 | 23.82 | 15 | 21.38 | 3-20 | 40-70 | 125 | 1670 | 450 | 14-18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | TD | CUI | 0.85 | 189.01 | |
| 5 | 8 1/2" | HCC | HC506Z | M323 | 6 | 16mm | 4x10 | 7116533 | 2-Mar-09 | 8587 | 1532 | 38.00 | 60.42 | 25.36 | 2-22 | 40-60 | 100-110 | 3190 | 500 | 12-25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | TD | CUI | 1.19 | 80.94 | |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 13D

| PETROPRODUCCION | | CUYABENO 13D | | CPEB | | 10128 | |
|-------------------------------|--------|------------------------------|------------------|--|------------------|-----------------|------------------|
| 10:00 Hrs. 20 NOVIEMBRE, 2009 | | 10:00 Hrs. 9 DICIEMBRE, 2009 | | RECUERTO MONTAÑO (MD): 19.34° AT 286° 3.56" @ 3.627. | | | |
| NO | TIPO | PROFUNDIDAD (M) | PROFUNDIDAD (FT) | PROFUNDIDAD (M) | PROFUNDIDAD (FT) | PROFUNDIDAD (M) | PROFUNDIDAD (FT) |
| 10 | 10 | 330 | 1082.67 | 330 | 1082.67 | 330 | 1082.67 |
| 20 | 12 1/4 | 500 | 1640.42 | 500 | 1640.42 | 500 | 1640.42 |
| 3 | 12 1/4 | 920 | 3016.73 | 920 | 3016.73 | 920 | 3016.73 |
| 20 | 12 1/4 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 |
| 4 | 12 1/4 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 |
| 5 | 8 1/2 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 |
| 6 | 8 1/2 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 |
| 7 | 8 1/2 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 | 1020 | 3346.45 |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 31D

| | | | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|------------------------------|--|
| <p>Operación</p> <p>PETROPRODUCCION</p> | | <p>Nombre del Pozo</p> <p>CUYABENO 31D</p> | | <p>Coordenadas UTM</p> <p>Latitude: N 0° 3' 10.816" Longitud: W 79° 17' 18.824"</p> | | <p>Categorías</p> <p>CPB</p> | |
| <p>Inicio y Fecha de Inicio</p> <p>15:00 Hrs. 25 MARZO, 2010</p> | | <p>Fin y Fecha de Fin</p> <p>8:30 Hrs. 18 ABRIL, 2010</p> | | <p>REVESTIMIENTOS (MD): 13 3/8" @ 406', 9 5/8" @ 5,504'</p> | | <p>-----</p> | |

| SECCION | DWM | MARCAS | TIPO | CSP | MCC | SWS | SQUILLES | PROF. SALIDA | INTERVALO PERFORADO | ROBES FROM | ROBES NETALS | REVESTIMACION | | | TIEMPO DESL. N. | PSE | RPM | MOTOR | DATA LOG | | | DENS. LODO | FORMACION | LITOLOGIA | COMENTARIOS |
|----------|--------|--------|-----------------|------|--------|----------------------|----------|--------------|---------------------|------------|--------------|---------------|-------|------|-----------------|-------|----------------------------|-------|----------|-----------|---------|------------|-----------|--|-------------|
| | | | | | | | | | | | | FROM | NETA | ROB | | | | | WC | DR | TEMP | | | | |
| 1 | 15 | RH | R-T11 | 115 | AL2059 | 3 x 16 1 x 18 | 100' | 407 | 360 | 12.5 | 10.1 | 28.8 | 35.6 | 0.0 | 3-0 | 40-60 | -- | 0.15 | 237.7 | 30-160 | 180-260 | 8.8 | T1 | Arcl. fm. csp. aren | |
| 2 | 12 1/4 | RH | DSR419S-F1 | 8322 | 224509 | 4 x 16 | | 2,026 | 1,610 | 26.5 | 13.6 | 72.0 | 119.0 | 60.2 | 3-0 | 60 | 8 Baker (5S) | 46.36 | 196.0 | 2750-3300 | 500-750 | 9.1 | T1 | Arcl. fm. csp. | |
| 3 | 12 1/4 | RH | RSR519M-B32 | M323 | 113811 | 7 x 13 | | 3,601 | 1,875 | 35.0 | 21.9 | 53.6 | 85.6 | 47.6 | 3-0 | 60-70 | 8 Baker (5S) | 17.54 | 262.8 | 2750-2980 | 850-900 | 9.3 | T1 | Arcl. fm. arc. | |
| SECTRACK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 12 1/4 | RH | TC11 | 117 | DT2830 | 3 x 16 | | 648 | 195 | 23.0 | 19.3 | 8.5 | 10.1 | 98.9 | 0-8 | 30-40 | 8 Baker (5S) | 3.19 | 261.9 | 1015-1290 | 500-650 | 8.7 | T1 | Arcl. fm. arc. | |
| 5 | 12 1/4 | RH | DSX204HF+GPW-A1 | 8322 | 205799 | 6 x 13 | | 5,505 | 4,867 | 57.0 | 30.3 | 85.2 | 160.3 | 40.8 | 3-24 | 50-60 | 8 Baker (5S) | 0.44 | 369.0 | 1600-3336 | 800-930 | 10.2 | T1 | ORTEGUADA | |
| 6 | 8 1/2 | RH | DS619S-A3 | 8424 | 212148 | 1 x 11 5 x 12 | | 6,883 | 1,178 | 20.5 | 13.9 | 57.5 | 84.7 | 19.7 | 2-14 | 60-80 | 8 3/4" Ultra XL INTEQ (5E) | 1.94 | 278.2 | 2300-1740 | 500-480 | 10.0 | | ARTEGUADA TIYUWACU | |
| 7 | 8 1/2 | RH | TD41AMPC | 417 | HA2056 | 3 x 12 1 x 15 1/2 | | 7,036 | 353 | 10.0 | 8.0 | 35.3 | 44.3 | 5.5 | 5-20 | 40 | 8 3/4" Ultra XL INTEQ (5E) | 1.53 | 305.9 | 3500 | 500 | 10.1 | | TIYUWACU | |
| 8 | 8 1/2 | RH | RSR616M-B6 | M322 | 211048 | 6 x 12 | | 8,510 | 1,474 | 55.0 | 40.2 | 26.5 | 36.7 | 30.5 | 5-8 | 60-80 | 8 3/4" Ultra XL INTEQ (5E) | 2.80 | 365.6 | 3100-2190 | 500-480 | 10.3 | | TIYUWACU, TIYUWACU MAYO, INDIAN PUEBLO CHISTACCO | |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 36D

| Operador | | Nombre del Pozo | | Sitio | | Coordenadas Geog | | Escala | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--|---------------|-----------------|------------|----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------|-----------------|-------|---------|------------------|-------------------|---------------------|---------------|------------|-----------|--|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| PETROPRODUCCION | | CUYABENO 36D | | CPEB | | 70128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha y Hora de Inicio | | Fecha y Hora de Fin | | Latitud | | Longitud | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18:30 Hrs, 28 MAYO, 2010 | | 23:00 Hrs, 11 JUNIO, 2010 | | N 0° 0' 46.277" | | W 78° 18' 17.572" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metros | | REVESTIMIENTOS (MD): 13.38' @ 245, 0.55' @ 5.03' | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pozo # | Zona | Madriz | TPO | COP (MDC) | Nro. Serr. | BOLLAS LOG | PROF. SALIDA (M) | INTERVALO PERFORADO (M) | PROM. PUNTA (M) | PROM. NETAS (M) | PENETRACION | | TEMPO DESL. (H) | FMS | RPM NOT | MOTOR | DATAFOR INC. (M) | PRESION BOMBA (PSI) | CALIDAD (PPH) | SERIE LOGO | FORMACION | LITOLOGIA COMENTARIOS | CONDICIONES DE REGISTRO | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | PROF. (M) | NETAS (M) | | | | | | | | | | | T1 | T2 | T3 | T4 | MD | LD | OD | RP | | | |
| 1U | 16 | RH | R-T11 | 115 | AL2059 | 3 x 16 1 x 18 | 288 | 244 | 8.0 | 7.2 | 30.5 | 33.9 | 0.0 | 4-30 | 46-80 | --- | --- | 70-40 | 150-300 | SS | Ti | Acil. (m. qd. ven) | | 1 | 1 | WT | K | E | I | NO | TD | | |
| 2 | 12 1/4 | RH | S11GP | 117 | DT2832 | 1 x 15 2 x 18 | 882 | 694 | 8.0 | 4.7 | 74.3 | 126.4 | 32.7 | 8-10 | 40 | 84-146 | 8" PDM (7.8) | 9.8 | 190.5 | 100-180 | SS | Ti | Acil. (m. qd. ven) | | 1 | 1 | WT | K | E | I | NO | BHA | |
| 3 | 12 1/4 | RH | DSX117GJ-A2 | M421 | 107222 | 5 x 12 3 x 13 | 4,118 | 3,234 | 36.0 | 20.1 | 85.1 | 160.9 | 28.1 | 4-10 | 40-60 | 103-182 | 8" PDM (7.8) | 18.9 | 186.1 | 3000-3300 | SS | Ti | Acil. (m. qd. ven) | | 0 | 1 | OT | T | X | I | BT | BHA | |
| 3R | 12 1/4 | RH | R-DSX117GJ-A2 | M421 | 107222 | 4 x 12 2 x 14 2 x 15 | 6,641 | 1,525 | 24.0 | 13.8 | 63.5 | 110.5 | 48.2 | 8-18 | 40 | 135-178 | 8" PDM (7.8) | 1.36 | 226.4 | 3100-3400 | 10.2 | Ti | ORTESUANA | | 1 | 1 | BT | K | X | I | NO | TD | |
| 4 | 8 1/2 | RH | DSX619S-A8 | 5624 | 201621 | 2 x 11 4 x 12 | 6,720 | 1,079 | 16.6 | 12.8 | 58.3 | 85.6 | 10.2 | 2-18 | 70-90 | 174-244 | 6.34" Motor (6.7) | 0.42 | 173.6 | 3500-1750 | 10.0 | ORTESUANA TIVONACU | | | 2 | 3 | BT | K | X | I | OT | FI | |
| 5 | 8 1/2 | RH | R09AP | 437 | AT4571 | 1 x 14 2 x 15 | 7,040 | 320 | 12.0 | 10.2 | 26.7 | 31.4 | 0.0 | 16-20 | 40 | 834" Motor (6.7) | 0.89 | 183.1 | 2485-2500 | 800 | 10.1 | TIVONACU | | | 1 | 1 | WT | K | E | I | BT | FI | |
| 6 | 8 1/2 | RH | MSX616M-A2C | M422 | 119654 | 6 x 12 | 8,570 | 1,530 | 43.0 | 34.7 | 35.6 | 44.1 | 3.0 | 6-20 | 60-90 | 145-234 | 6.34" Motor (6.7) | 0.09 | 171.0 | 3350-2100 | 10.0 | TIVONACU TEMA NPOC 36D 36D PRE OPERACION | | | 1 | 4 | OT | K | X | I | 2 | WT | TD |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 12D

| | | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|--|--|----------------------|
| GEOGRAPHIC LOCATION Ecuador / Sucumbios | | OPERATOR PETROPRODUCCION | SPUD DATE: 12-Jul-2009 | TD DATE: 30-Jul-2009 | DULL CHARACTERISTICS | | | | WELL TYPE |
| FIELD / AREA | | WELL | WELL TYPE: | WORK TYPE: | DULL CHARACTERISTICS | | | | WELL TYPE |
| VHR | | VHR-12D | Desarrolló | HCC OFFER: | DULL CHARACTERISTICS | | | | WORK TYPE |
| LATITUDE | | CONTRACTOR / RIG | | LUMP SUM: | DULL CHARACTERISTICS | | | | DIARIO |
| 0° 23' 38.305" North | | CPEB 70128 | | TARGET FM: | DULL CHARACTERISTICS | | | | PIEPEPORADO |
| LONGITUDE | | PETROPRODUCCION | | AREASAS "U" y "T": | DULL CHARACTERISTICS | | | | COMBINADO |
| 76° 17' 24.542" West | | DIRECCIONAL CO.: | | MUD CO.: | DULL CHARACTERISTICS | | | | LLAVE EN MANO |
| | | Seblumberger | | Mf Sraeco | DULL CHARACTERISTICS | | | | RENDIMIENTO |

| No | SIZE | MFG | TYPE | BIT INFORMATION | | | DEPT H OUT | DATE OUT | NET HRS | NET ROP | HRS IADC | ROP IADC | VOB | RPM ROT | PUMP PRESS | FLOW RATE | TQ | Feet SLIDE | Time SLIDE | % SLIDE | PDM TYPE | PDM AKO | PDM FACT | FORMATIONS | | SURVEYS | |
|----|--------|-----|---------|-----------------|--------|--------|------------|----------|-----------|---------|----------|----------|------|---------|------------|-----------|-----|------------|------------|---------|----------|---------|----------|------------|------|---------|-------|
| | | | | IADC | BLADES | CUTTER | | | | | | | | | | | | | | | | | | MM | INCH | NO | NAME |
| 1 | 12 1/4 | HCC | HCD605Z | M323 | 5 | 19mm | 7x12 | 7017206 | 13-Jul-09 | 280 | 280 | 83.33 | 2-4 | 40 | 50 | 210 | 300 | 2-5 | 0 | 0 | 0 | - | - | TID | CI | 0.84 | 182.3 |
| 1R | 12 1/4 | HCC | HCD605Z | M323 | 5 | 19mm | 7x12 | 7017206 | 15-Jul-09 | 3542 | 3262 | 88.35 | 2-22 | 60+152 | 212 | 3260 | 950 | 2-10 | 693 | 7.27 | 33 | - | - | TID | CI | 34.42 | 180.1 |
| 2 | 12 1/4 | HCC | QD605X | M323 | 5 | 19mm | 7x13 | 7014548 | 19-Jul-09 | 6156 | 2616 | 38.61 | 5-22 | 60+152 | 212 | 3450 | 830 | 4-13 | 854 | 35.57 | 71 | - | - | TID | CI | 2.59 | 184.8 |

ROP ON BOTTOM (FT/H) = 82.67

HRS ON BOTTOM (HRS) = 74.49

FOOTAGE (FT) = 6158

| No | SIZE | MFG | TYPE | BIT INFORMATION | | | DEPT H OUT | DATE OUT | NET HRS | NET ROP | HRS IADC | ROP IADC | VOB | RPM ROT | PUMP PRESS | FLOW RATE | TQ | Feet SLIDE | Time SLIDE | % SLIDE | PDM TYPE | PDM AKO | PDM FACT | FORMATIONS | | SURVEYS | |
|----|-------|-----|--------|-----------------|---------|--------|------------|----------|-----------|---------|----------|----------|------|---------|------------|-----------|-----|------------|------------|---------|----------|---------|----------|------------|-----------|---------|--------|
| | | | | IADC | BLADES | CUTTER | | | | | | | | | | | | | | | | | | MM | INCH | NO | NAME |
| 3 | 8 1/2 | HCC | HC605S | S323 | 5 | 19mm | 4x12, 2x13 | 7500623 | 23-Jul-09 | 6900 | 742 | 41.85 | 2-17 | 60+140 | 200 | 2900 | 500 | 12-20 | 121 | 5.95 | 34 | - | - | TTY | CI | 1.32 | 117.21 |
| 4 | 8 1/2 | HCC | MX-S18 | 447 | Tricone | TCl | 3x16 | 5057280 | 25-Jul-09 | 7407 | 507 | 17.37 | 2-22 | 60+151 | 211 | 2850 | 500 | 13-17 | 0 | 0 | 0 | - | - | TTY | CI | 1.74 | 126.12 |
| 5 | 8 1/2 | HCC | HC606Z | M323 | 6 | 18mm | 4x12, 2x13 | 7116533 | 27-Jul-09 | 8294 | 887 | 30.93 | 2-22 | 40+126 | 166 | 2950 | 550 | 13-17 | 19 | 0.83 | 3 | - | - | TTY/TENMAP | CI/CI/SLS | 0.83 | 345.97 |
| 6 | 8 1/2 | HCC | HR-S09 | 437 | Tricone | TCl | 3x18 | 5080556 | 30-Jul-09 | 8622 | 628 | 16.92 | 8-37 | 50+134 | 194 | 2750 | 500 | 12-21 | 0 | 0 | 0 | - | - | MARILLIBAS | SHSSLS/9 | 1.16 | 340.47 |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 24D

| GEOGRAPHIC LOCATION | | OPERATOR | | SPUD DATE: | | TO DATE: | | DULL CHARACTERISTICS | | | | | | | | | | WELL TYPE | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------|----------|-------------|---------|---------------|--------------|---|-----------|----------|------|----------|--------|-----------------|-------|-----------|-----|--|----------|-------|----|-------|---------|--------------------|-------------------|---------|--------|--|
| Ecuador / Sucumbios | | PETROPRODUCCION | | 17-Ene-2009 | | 1-Feb-2009 | | BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference ER - Erosion UD - Junk Damage LT - Lost Teeth/Cutters FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone OC - Off Center Wear FG - Rounded Gauge SS - Self Sharpening Wear WT - Worn Teeth/Cutter BT - Broken Teeth CD - Cone Drag CR - Cored WORK TYPE DIARIO PIE PERFORADO COMBINADO LLAVE EN MANO RENDIMIENTO | | | | | | | | | | DESARROLLO INYECTOR EXPLORATORIO | | | | | | | | | | |
| FIELD / AREA | | WELL | | DEPT | | INTER Y DRILE | | NET HRS | | ROP IADC | | ROP IADC | | PUMP PRESS RATE | | FLOW RATE | | TQ | | SLIDE | | PDM | | FORMATIONS | | SURVEYS | | |
| No | SIZE | MFG | TYPE | IADC | BLADES | CUTTER | NOZZLES | SERIAL | DATE OUT | H OUT | ft. | ft. | hrs | hrs | ft/hr | ft/hr | psi | gpm | (lbs/ft) | Time | % | Angle | revs/ft | NAME | LITH. | INCL | AZMUTH | |
| 1 | 12 1/4" | HCC | HCM605ZX | M323 | 5 | 19mm | 7x13 | 7012751 | 16-Jan-09 | 400 | 400 | 4.38 | 4.67 | 5.87 | 68.14 | 650 | 400 | 1-3 | 0 | 0 | 0 | - | - | TID | CI/SI | 1.45 | 86.29 | |
| 1R | 12 1/4" | HCC | HCM605ZX | M323 | 5 | 19mm | 7x13 | 7012751 | 19-Jan-09 | 3287 | 2887 | 22.38 | 120.00 | 35.23 | 81.95 | 3150 | 900 | 4-6 | 663 | 7.4 | 33 | - | 0.23 | TID | CI/SI | 31.11 | 5.17 | |
| 1RR | 12 1/4" | HCC | HCM605ZX | M323 | 5 | 19mm | 7x13 | 7012751 | 21-Jan-09 | 5317 | 2030 | 16.62 | 107.86 | 30.21 | 67.20 | 3200 | 900 | 3-6 | 151 | 3.18 | 17 | - | 0.23 | TIDORT | CI/SI/SN | 29.5 | 3.93 | |
| SECCIÓN 12 1/4" FOOTAGE (FT) = 5317 HRS ON BOTTOM (HRS) = 45.58 ROP ON BOTTOM (FT/HR) = 116.65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 8 1/2" | HCC | HC604 | M223 | 4 | 19mm | 2x11 4x12 | 7301269 | 26-Jan-09 | 6923 | 1806 | 35.72 | 44.96 | 49.37 | 33.20 | 2460 | 550 | 5-14 | 151 | 15.15 | 42 | - | 0.84 | ORTITY | SMS/CS/Chart | 30.86 | 5.02 | |
| 3 | 8 1/2" | HCC | MXL-S11 | 437 | TRICONE | TCI | 3x18 | 6046627 | 28-Jan-09 | 7560 | 637 | 23.20 | 27.46 | 26.63 | 22.25 | 2320 | 470 | 11-4 | 128 | 5.17 | 22 | - | 0.84 | TY | Chart | 33.49 | 6.85 | |
| 4 | 8 1/2" | HCC | HC605S | S323 | 5 | 19mm | 6x12 | 7010391 | 30-Jan-09 | 8347 | 787 | 25.83 | 30.47 | 31.65 | 24.87 | 3110 | 600 | 11-17 | 89 | 4.42 | 17 | - | 0.84 | TY/TENMAP | Chart/CI/SI/SI/Sb | 30.95 | 6.77 | |
| 5 | 8 1/2" | HCC | HCM506Z | M323 | 6 | 16mm | 6X12 | 7302803 | 1-Feb-09 | 9260 | 913 | 24.88 | 36.70 | 30.83 | 29.61 | 3200 | 500 | 11-18 | 117 | 6.47 | 26 | - | 0.84 | TENMAP/CI/SI/SI/Sb | SMS/CS/Chart | 24.19 | 1.85 | |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 21D

| Descripción | | Número de Pozo | | Latitud | | Longitud | | CPEB | | Página # | |
|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------------------------|----------|-------------------|------|--------|--|---|------|
| PETROPRODUCCION | | VHR 21D | | 0° 24' 37.84" N | | 78° 17' 21.443" W | | CPEB | | 70126 | |
| Fecha y Hora de Inicio | | Fecha y Hora de Fin | | Metros | | Metros | | | | | |
| 1:30 Hrs. 22 OCTUBRE, 2009 | | 8:30 Hrs. 6 NOVIEMBRE, 2009 | | RE-VESTIMENTOS (MD): 9.58' @ 6.09P' | | | | | | | |
| Run | Time | Depth | Rate | Temp | Pressure | Flow | Surf | Bottom | Formation | Remarks | Tool |
| 1 | 12:14 | RH | 400 | 67 | 39.6 | 9.0 | 5.9 | 36-70 | II | And. lin. cgl. aren. | BT |
| 2 | 12:14 | RH | 3,920 | 14.1 | 95.1 | 37.0 | 36 | 40 | II | And. lin. aren. | CT |
| 3 | 12:14 | RH | 6,103 | 87 | 63.3 | 34.5 | 26 | 40 | II, ORTEGUZA | And. lin. aren. lat. | NO |
| 4 | 8:12 | RH | 6,507 | 58.6 | 40.4 | 10.0 | 6.9 | 88-126 | ORTEGUZA, TRUYACU | And. lin. aren. lat. cgl. | BT |
| 5 | 8:12 | RH | 7,090 | 53.0 | 31.5 | 18.5 | 11.0 | 65-40 | TRUYACU | And. lin. aren. cgl. chert. | BT |
| 6 | 8:12 | RH | 7,462 | 37.2 | 35.4 | 10.5 | 16.0 | 40 | TRUYACU | Cgl. chert. and. | WT |
| 7 | 8:12 | RH | 9,020 | 36.4 | 28.6 | 54.5 | 42.8 | 86-19 | TRUYACU, TENA, NAPO, BOLLEN, BASAMENTO | Cgl. chert. and. lat. lat. aren. cgl. Basamento | BT |

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 2

**MÉTODO DE ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA POR
POZO**

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 28D

| POZO CUY 28D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|----------------------|--|-----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ff] | Formación | Intervalo Perforado [ff] | Tempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 117 | GT-1 | 315 | TID | 315 | 3 | 91 | 10 | 40 | 24,870 | 0 | 99 | 7 |
| M323 | QD605X | 3,377 | TID | 3,062 | 20 | 154 | 16 | 60 | 24,870 | 0.3 | 20 | 10 |
| M323 | QD605X | 5,127 | TID/ORT | 1,750 | 14 | 122 | 16 | 60 | 24,870 | 3 | 32 | 13 |
| M223 | HC504ZX | 6,713 | ORT/TIY | 1,586 | 18 | 90 | 17 | 80 | 24,870 | 5 | 41 | 36 |
| 437 | GT-S09 | 7,055 | TIY | 342 | 14 | 24 | 20 | 70 | 24,870 | 7 | 183 | 138 |
| M323 | HC506Z | 8,587 | TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,532 | 38 | 40 | 22 | 80 | 24,870 | 7 | 69 | 103 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 13D

| POZO CUY 13D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|----------------------|--|-----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ff] | Formación | Intervalo Perforado [ff] | Tempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 115 | T11 | 330 | TID | 284 | 6 | 50 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | TC11P | 500 | TID | 170 | 3 | 53 | 16 | 50 | 16,429 | 0.3 | 134 | 25 |
| M421 | DSR419M | 1,291 | TID | 791 | 6 | 132 | 4 | 40 | 16,429 | 1 | 36 | 2 |
| M421 | DSR419M | 4,026 | TID | 2,735 | 18 | 156 | 14 | 40 | 16,429 | 1 | 18 | 6 |
| S121 | DSX204HF | 5,623 | TID/ORT | 1,597 | 14 | 118 | 20 | 80 | 16,429 | 4 | 30 | 22 |
| M223 | DSX104HG | 6,474 | ORT/TIY | 851 | 24 | 36 | 20 | 60 | 16,429 | 6 | 82 | 79 |
| 437 | TD44HMFPDH | 6,800 | TIY | 326 | 9 | 36 | 30 | 50 | 16,429 | 6 | 136 | 99 |
| S424 | DSX70FGPV | 8,378 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,578 | 30 | 53 | 30 | 80 | 16,429 | 7 | 52 | 107 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 34D

| POZO CUY 34D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|--|-----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ff] | Formación | Intervalo Perforado [ff] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 115 | T11 | 334 | T1D | 290 | 5 | 57 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | TC11P | 500 | T1D | 166 | 5 | 34 | 10 | 40 | 19,167 | 0.3 | 172 | 19 |
| M421 | DSX117GJ | 4,030 | T1D | 3,530 | 23 | 153 | 14 | 40 | 19,167 | 1 | 17 | 6 |
| M422 | MSX519M | 5,600 | T1D/ORT | 1,570 | 11 | 145 | 22 | 40 | 19,167 | 4 | 29 | 10 |
| S322 | RSX192HF | 6,412 | ORT/T1Y | 812 | 10 | 80 | 14 | 50 | 19,167 | 6 | 59 | 21 |
| 447 | TD44HMKPR | 6,740 | T1Y | 328 | 11 | 31 | 30 | 50 | 19,167 | 6 | 152 | 115 |
| M322 | RSR616M | 8,295 | T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,555 | 38 | 41 | 24 | 50 | 19,167 | 7 | 64 | 70 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 35D

| POZO CUY 35D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|--|----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 115 | T11 | 372 | T1D | 372 | 6 | 60 | - | - | - | - | - | - |
| M323 | DSX519M | 600 | T1D | 228 | 5 | 44 | 5 | 30 | 19,167 | 0.4 | 128 | 6 |
| M323 | RSX519M | 3,191 | T1D | 2,591 | 15 | 169 | 17 | 40 | 19,167 | 1 | 18 | 7 |
| M323 | DSR519M | 5,515 | T1D/ORT | 2,324 | 26 | 90 | 17 | 40 | 19,167 | 3 | 31 | 12 |
| M322 | RSR516M | 6,608 | ORT/T1Y | 1,093 | 19 | 58 | 20 | 80 | 19,167 | 6 | 58 | 65 |
| 437 | DJ30FKPR | 6,932 | T1Y | 324 | 10 | 33 | 30 | 40 | 19,167 | 7 | 150 | 85 |
| M323 | DSR619M | 8,430 | T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,498 | 29 | 52 | 20 | 60 | 19,167 | 7 | 56 | 54 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 29D

| POZO CUY 29D | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ff] | Formación | Intervalo Perforado [ff] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| 115 | T11 | 367 | T1D | 367 | 6 | 62 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | TC11P | 550 | T1D | 183 | 5 | 35 | 10 | 60 | 19,167 | 0.4 | 159 | 28 |
| M323 | RSR519M | 3,710 | T1D | 3,160 | 18 | 172 | 10 | 60 | 19,167 | 1 | 17 | 6 |
| M323 | RSR519M | 5,530 | T1D/ORT | 1,820 | 18 | 100 | 10 | 60 | 19,167 | 4 | 32 | 10 |
| S322 | RSX192HFGSW | 6,620 | ORT/T1Y | 1,090 | 14 | 78 | 14 | 60 | 19,167 | 6 | 50 | 25 |
| 417 | R01AP | 6,981 | T1Y | 361 | 9 | 39 | 22 | 40 | 19,167 | 7 | 132 | 53 |
| S424 | DSR619S | 8,526 | T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,545 | 35 | 45 | 22 | 60 | 19,167 | 7 | 61 | 70 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 31D

| POZO CUY 31D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|----------------------|--|----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 115 | T11 | 407 | TID | 360 | 10 | 36 | - | - | - | - | - | - |
| S322 | DSR419S | 2,026 | TID | 1,378 | 14 | 101 | 10 | 60 | 16,429 | 0.4 | 26 | 8 |
| M323 | RSR519M | 3,901 | TID | 1,875 | 22 | 86 | 10 | 60 | 16,429 | 2 | 32 | 11 |
| SIDE TRACK | | | | | | | | | | | | |
| 117 | TC11 | 648 | TID | 195 | 19 | 12 | 8 | 30 | 16,429 | 0.5 | 267 | 39 |
| S322 | DSX204HF+GPW | 5,505 | TID/ORT | 4,857 | 30 | 53 | 24 | 50 | 16,429 | 1 | 15 | 12 |
| S424 | DS619S | 6,683 | ORT/TIY | 1,178 | 14 | 85 | 14 | 60 | 16,429 | 6 | 44 | 23 |
| 417 | TD41AMPC | 7,036 | TIY | 353 | 8 | 44 | 20 | 40 | 16,429 | 7 | 121 | 42 |
| M322 | RSR616M | 8,510 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,474 | 40 | 37 | 18 | 60 | 16,429 | 7 | 69 | 69 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 30D

| POZO CUY 30D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| 115 | T11 | 326 | TID | 326 | 6 | 52 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | TC11P | 518 | TID | 192 | 3 | 64 | 10 | 50 | 16,429 | 0.3 | 117 | 13 |
| M323 | RSR519M | 3,185 | TID | 2,667 | 20 | 134 | 10 | 60 | 16,429 | 1 | 20 | 7 |
| M323 | RSR519M | 5,239 | TID/ORT | 2,054 | 25 | 81 | 12 | 60 | 16,429 | 3 | 33 | 15 |
| M323 | RSR519M | 5,272 | Acondicionamiento | 33 | 1 | 51 | 10 | 60 | 16,429 | 5 | 819 | 19 |
| M223 | DSX104HG | 6,660 | ORT/TIY | 1,388 | 18 | 79 | 14 | 60 | 16,429 | 5 | 41 | 25 |
| 437 | DJ30FKPR | 6,985 | TIY | 325 | 10 | 33 | 22 | 40 | 16,429 | 7 | 143 | 64 |
| M322 | RSX616M | 8,525 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,540 | 38 | 40 | 22 | 60 | 16,429 | 7 | 63 | 77 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 32D

| POZO CUY 32D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| 115 | T11 | 410 | TID | 363 | 6 | 60 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | S11GP | 500 | TID | 90 | 1 | 82 | 12 | 40 | 16,429 | 0.4 | 213 | 10 |
| M323 | DSR519M | 3,753 | TID | 3,253 | 21 | 153 | 12 | 40 | 16,429 | 1 | 17 | 5 |
| M323 | DSX104DGJNSU | 5,928 | TID/ORT | 2,175 | 22 | 99 | 12 | 40 | 16,429 | 4 | 29 | 8 |
| M422 | RSR519M | 6,924 | ORT/TIY | 996 | 25 | 40 | 12 | 40 | 16,429 | 6 | 73 | 28 |
| 437 | DJ30FKPR | 7,252 | TIY | 328 | 13 | 26 | 26 | 40 | 16,429 | 7 | 157 | 94 |
| M322 | DSX616M | 8,772 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,520 | 39 | 39 | 16 | 90 | 16,429 | 7 | 66 | 87 |
| 437 | DJ30FKPR | 8,800 | PR-C | 28 | 7 | 4 | 30 | 40 | 16,429 | 9 | 117 | 686 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 36D

| POZO CUY 36D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|--|----|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³] | Es |
| 115 | T11 | 288 | TID | 244 | 7 | 34 | - | - | - | - | - | - |
| 117 | S11GP | 882 | TID | 594 | 5 | 126 | 10 | 40 | 19,167 | 0.3 | 47 | 5 |
| M421 | DSX117GJ | 4,116 | TID | 3,234 | 20 | 161 | 10 | 40 | 19,167 | 1 | 18 | 4 |
| M421 | DSX117GJ | 5,641 | TID/ORT | 1,525 | 14 | 111 | 18 | 40 | 19,167 | 4 | 34 | 11 |
| S424 | DSX619S | 6,720 | ORT/TIY | 1,079 | 13 | 86 | 18 | 70 | 19,167 | 6 | 48 | 35 |
| 437 | R09AP | 7,040 | TIY | 320 | 10 | 31 | 20 | 40 | 19,167 | 7 | 155 | 60 |
| M422 | MSX616M | 8,570 | TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C | 1,530 | 35 | 44 | 20 | 60 | 19,167 | 7 | 62 | 64 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 33D

| POZO CUY 33D | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| IADC | | | | | | | | | | | | |
| 115 | T11 | 415 | TID | 370 | 7 | 57 | - | - | - | - | - | - |
| M323 | RSR519M | 4,299 | TID | 3,884 | 14 | 284 | 12 | 40 | 28,750 | 0.4 | 14 | 3 |
| M323 | RSR519M | 6,268 | TID/ORT/TIY | 1,969 | 22 | 91 | 12 | 50 | 28,750 | 4 | 38 | 11 |
| S424 | DSR619S | 7,380 | TIY | 1,112 | 38 | 30 | 16 | 40 | 28,750 | 6 | 97 | 51 |
| M322 | RSR616M | 8,850 | TIY/TEN/NAP/HILLN/PR-C | 1,470 | 34 | 43 | 24 | 60 | 28,750 | 7 | 70 | 78 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 12D

| POZO VHR 12D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | HCD605Z | 280 | TID | 280 | 3 | 109 | 4 | 40 | 21,328 | 0 | 93 | 2 |
| M323 | HCD605Z | 3,542 | TID | 3,262 | 22 | 147 | 22 | 60 | 21,328 | 0.3 | 19 | 15 |
| M323 | QD605X | 6,158 | TID/ORT/TIY | 2,616 | 50 | 53 | 22 | 60 | 21,328 | 4 | 45 | 41 |
| S323 | HC605S | 6,900 | TIY | 742 | 18 | 42 | 17 | 60 | 21,328 | 6 | 87 | 57 |
| 447 | MX-S18 | 7,407 | TIY | 507 | 29 | 17 | 22 | 60 | 21,328 | 7 | 170 | 179 |
| M323 | HC506Z | 8,294 | TIY/TEN/NAP | 887 | 29 | 31 | 22 | 40 | 21,328 | 7 | 97 | 67 |
| 437 | HR-S09 | 8,922 | NAP/HLLN/BAS | 628 | 37 | 17 | 37 | 50 | 21,328 | 8 | 164 | 257 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 18D

| POZO VHR 18D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | QD605X | 400 | TID | 400 | 7 | 58 | 5 | 40 | 24,870 | 0 | 93 | 6 |
| M323 | QD605X | 4,110 | TID | 3,710 | 21 | 176 | 15 | 80 | 24,870 | 0.4 | 17 | 11 |
| M323 | QD605X | 5,933 | TID/ORT/TIY | 1,823 | 25 | 73 | 22 | 40 | 24,870 | 4 | 42 | 20 |
| S323 | HC605S | 6,780 | TIY | 847 | 17 | 51 | 15 | 40 | 24,870 | 6 | 77 | 28 |
| 437 | GX-09H | 7,156 | TIY | 376 | 15 | 25 | 22 | 40 | 24,870 | 7 | 169 | 81 |
| M323 | HCM506Z | 8,669 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,513 | 44 | 34 | 22 | 60 | 24,870 | 7 | 78 | 91 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 19D

| POZO VHR 19D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | HC605Z | 500 | TID | 500 | 4 | 121 | 4 | 40 | 24,870 | 0 | 65 | 2 |
| M323 | HC605Z | 3,447 | TID | 2,947 | 17 | 172 | 13 | 60 | 24,870 | 1 | 19 | 7 |
| M323 | HC605Z | 5,962 | TID/ORT/TIY | 2,515 | 30 | 85 | 18 | 60 | 24,870 | 3 | 34 | 21 |
| S323 | HC605S | 6,778 | TIY | 816 | 15 | 53 | 17 | 60 | 24,870 | 6 | 78 | 45 |
| 537 | GX-30DX0 | 7,238 | TIY | 460 | 19 | 24 | 26 | 70 | 24,870 | 7 | 157 | 181 |
| M323 | HCM506Z | 8,675 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,437 | 44 | 33 | 22 | 60 | 24,870 | 7 | 81 | 94 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 24D

| POZO VHR 24D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | HCM605ZX | 400 | TID | 400 | 4 | 91 | 22 | 60 | 21,328 | 0 | 73 | 24 |
| M323 | HCM605ZX | 3,287 | TID | 2,887 | 22 | 129 | 12 | 60 | 21,328 | 0.4 | 22 | 9 |
| M323 | HCM605ZX | 5,317 | TID/ORT | 2,030 | 19 | 108 | 20 | 60 | 21,328 | 3 | 30 | 18 |
| M223 | HC604 | 6,923 | ORT/TIY | 1,606 | 36 | 45 | 16 | 60 | 21,328 | 5 | 59 | 50 |
| 437 | MXL-S11 | 7,560 | TIY | 637 | 23 | 27 | 30 | 40 | 21,328 | 7 | 119 | 103 |
| S323 | HC605S | 8,347 | TIY/TEN/NAP | 787 | 26 | 30 | 22 | 70 | 21,328 | 8 | 103 | 119 |
| M323 | HCM506Z | 9,260 | NAP/HLLN/BAS | 913 | 25 | 37 | 22 | 40 | 21,328 | 8 | 89 | 56 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 22D

| POZO VHR22D | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|---------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [kbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | HCM605ZX | 400 | TID | 400 | 4 | 91 | 5 | 30 | 18,653 | 0 | 66 | 3 |
| M323 | HCM605ZX | 3,571 | TID | 3,171 | 18 | 177 | 12 | 60 | 18,653 | 0.4 | 16 | 7 |
| M323 | HCM605ZX | 5,106 | TID/ORT | 1,535 | 13 | 121 | 15 | 60 | 18,653 | 4 | 31 | 12 |
| M323 | HC605Z | 6,717 | ORT/TIY | 1,611 | 52 | 31 | 22 | 90 | 18,653 | 5 | 75 | 149 |
| 437 | GX-09 | 7,210 | TIY | 493 | 20 | 25 | 15 | 50 | 18,653 | 7 | 134 | 70 |
| M323 | HC605Z | 7,970 | TIY/TEN | 760 | 34 | 22 | 25 | 90 | 18,653 | 7 | 123 | 239 |
| M323 | HCM506Z | 8,901 | TEN/NAP/HLLN/BAS | 931 | 39 | 24 | 20 | 50 | 18,653 | 8 | 111 | 99 |
| 437 | MXL-S11 | 8,945 | BAS | 44 | 5 | 9 | 22 | 60 | 18,653 | 9 | 999 | 365 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 21D

| POZO VHR21 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|----------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Profundidad de Salida [ft] | Formación | Intervalo Perforado [ft] | Tiempo de Perforación [hrs] | ROP [ft/hrs] | W [klbs] | N [rpm] | Costo de la Broca [USD] | Tiempo de Viaje [hrs] | Costo [USD/ft] | Es [in-lbf/in ³] |
| M323 | RSX519M | 400 | TID | 396 | 6 | 67 | 5 | 30 | 16,429 | 0 | 68 | 4 |
| M323 | RSR519M | 3,920 | TID | 3,520 | 25 | 141 | 18 | 40 | 16,429 | 0.4 | 18 | 8 |
| S322 | RSX516S | 6,103 | TID/ORT | 2,183 | 25 | 87 | 18 | 40 | 16,429 | 4 | 31 | 13 |
| M223 | DSX104HG | 6,507 | ORT/TIY | 404 | 7 | 59 | 20 | 80 | 16,429 | 6 | 99 | 64 |
| M322 | RSX619M | 7,090 | TIY | 583 | 11 | 53 | 20 | 60 | 16,429 | 7 | 82 | 53 |
| 417 | TD41M | 7,462 | TIY | 372 | 10 | 37 | 30 | 40 | 16,429 | 7 | 127 | 76 |
| S424 | DSX70FGPV | 9,020 | TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS | 1,558 | 43 | 36 | 24 | 60 | 16,429 | 7 | 69 | 93 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3

**HIDRAULICA Y REOLOGÍA DE LOS POZOS
PERFORADOS EN EL CAMPO CUYABENO-VHR**

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo Cuyabeno

| Pozo | Datos de Broca | | | | | Propiedades del Fluido | | | | Hidráulica de la Broca | | | | |
|---------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|----|----|------------------------|------------------|--------|-------|------|
| | Diámetro | Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Boquillas [1/32in] | Área de Boquillas [in ²] | Flow Rate [gpm] | Peso [ppm] | PV | YP | Press Drop [psi] | Jet Vel [ft/seg] | JIF | HHP | HSI |
| CUY 28D | 12.25 | 117 | GT-1 | 3x16 | 768 | 250 | 8.6 | 3 | 4 | 142.62 | 135.8 | 151.3 | 20.8 | 0.18 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x11 | 847 | 860 | 9.2 | 8 | 11 | 1,484.34 | 423.6 | 1736.6 | 744.8 | 6.30 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x13 | 1,183 | 870 | 10.2 | 12 | 14 | 863.34 | 306.8 | 1410.7 | 438.2 | 3.71 |
| | 8.5 | M223 | HC504ZX | 6x12 | 864 | 550 | 10.1 | 21 | 28 | 640.52 | 265.6 | 764.4 | 205.5 | 3.61 |
| | 8.5 | 437 | GT-S09 | 3x18 | 972 | 450 | 10.1 | 19 | 22 | 338.79 | 193.1 | 454.8 | 88.9 | 1.56 |
| | 8.5 | M323 | HC506Z | 4x10;2x16 | 912 | 500 | 10.5 | 21 | 24 | 493.92 | 228.7 | 622.2 | 144.1 | 2.53 |
| CUY 13D | 16 | 115 | T11 | 3x15;1x16 | 931 | 210 | 8.6 | 1 | 1 | 68 | 94.1 | 88.1 | 8.4 | 0.04 |
| | 12.25 | 117 | TC11P | 3x16 | 768 | 300 | 8.6 | 1 | 1 | 205 | 163.0 | 217.9 | 35.9 | 0.30 |
| | 12.25 | M421 | DSR419M | 4x12;4x13 | 1,252 | 950 | 8.9 | 6 | 10 | 802 | 316.6 | 1386.8 | 444.5 | 3.76 |
| | 12.25 | M421 | DSR419M | 4x12;4x13 | 1,252 | 980 | 9.4 | 14 | 17 | 901 | 326.6 | 1558.7 | 515.3 | 4.36 |
| | 12.25 | S121 | DSX204HF | 6x15 | 1,350 | 900 | 9.9 | 14 | 16 | 689 | 278.1 | 1284.0 | 361.6 | 3.06 |
| | 8.5 | M223 | DSX104HG | 5x12 | 720 | 470 | 9.9 | 15 | 16 | 660 | 272.3 | 656.6 | 181.0 | 3.18 |
| | 8.5 | 437 | TD44HMFDPH | 3x16 | 768 | 550 | 10.0 | 25 | 20 | 803 | 298.8 | 851.4 | 257.6 | 4.53 |
| CUY 34D | 16 | 115 | T11 | 3x15;1x16 | 931 | 220 | 8.7 | 2 | 1 | 76 | 98.6 | 97.8 | 9.8 | 0.05 |
| | 12.25 | 117 | TC11P | 3x16 | 768 | 250 | 8.7 | 2 | 1 | 144 | 135.8 | 153.0 | 21.0 | 0.18 |
| | 12.25 | M421 | DSX117GJ | 4x12;4x13 | 1,252 | 970 | 9.3 | 6 | 10 | 874 | 323.2 | 1510.8 | 494.4 | 4.18 |
| | 12.25 | M422 | MSX519M | 3x16;2x18 | 1,416 | 970 | 9.9 | 8 | 16 | 727 | 285.8 | 1422.0 | 411.5 | 3.48 |
| | 8.5 | S322 | RSX192HF | 2x10;5x11 | 805 | 450 | 9.7 | 11 | 10 | 474 | 233.2 | 527.5 | 124.5 | 2.19 |
| | 8.5 | 447 | TD44HMKPR | 3x16 | 768 | 500 | 10.0 | 13 | 16 | 663 | 271.6 | 703.7 | 193.5 | 3.40 |
| | 8.5 | M322 | RSR616M | 6x12 | 864 | 500 | 10.4 | 27 | 24 | 545 | 241.4 | 650.5 | 159.0 | 2.80 |
| CUY 35D | 16 | 115 | T11 | 3x15;1x16 | 931 | 220 | 8.6 | 1 | 3 | 75 | 98.6 | 96.6 | 9.6 | 0.05 |
| | 12.25 | M323 | DSX519M | 4x16;5x10 | 1,524 | 310 | 8.7 | 3 | 2 | 56 | 84.9 | 118.6 | 10.2 | 0.09 |
| | 12.25 | M323 | RSX519M | 5x12;4x13 | 1,396 | 1,000 | 9.3 | 6 | 5 | 747 | 298.9 | 1440.1 | 435.7 | 3.69 |
| | 12.25 | M323 | DSR519M | 5x12;4x13 | 1,396 | 950 | 9.8 | 14 | 16 | 710 | 283.9 | 1369.5 | 393.7 | 3.33 |
| | 8.5 | M322 | RSR516M | 2x10;5x11 | 805 | 480 | 10.0 | 15 | 16 | 556 | 248.8 | 618.7 | 155.8 | 2.74 |
| | 8.5 | 437 | DJ30FKPR | 3x16 | 768 | 500 | 10.1 | 25 | 20 | 670 | 271.6 | 710.7 | 195.4 | 3.44 |
| | 8.5 | M323 | DSR619M | 6x12 | 864 | 500 | 10.4 | 24 | 18 | 545 | 241.4 | 650.5 | 159.0 | 2.80 |
| CUY 29D | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 270 | 8.6 | 2 | 1 | 82 | 103.2 | 124.1 | 13.0 | 0.06 |
| | 12.25 | 117 | TC11P | 3x16 | 768 | 300 | 8.7 | 2 | 1 | 208 | 163.0 | 220.4 | 36.4 | 0.31 |
| | 12.25 | M323 | RSR519M | 7x12 | 1,008 | 900 | 9.3 | 6 | 10 | 1,160 | 372.5 | 1615.5 | 609.2 | 5.16 |
| | 12.25 | M323 | RSR519M | 7x13 | 1,183 | 800 | 10.0 | 8 | 16 | 716 | 282.1 | 1169.5 | 334.0 | 2.83 |
| | 8.5 | S322 | RSX192HFGSW | 2x10;5x11 | 805 | 450 | 10.0 | 11 | 10 | 489 | 233.2 | 543.8 | 128.4 | 2.26 |
| | 8.5 | 417 | R01AP | 3x15 | 675 | 500 | 10.1 | 13 | 16 | 867 | 309.0 | 808.6 | 253.0 | 4.45 |
| | 8.5 | S424 | DSR619S | 6x12 | 864 | 480 | 10.4 | 27 | 24 | 502 | 231.8 | 599.5 | 140.7 | 2.47 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo Cuyabeno

| Pozo | Datos de Broca | | | | | Propiedades del Fluido | | | | Hidráulica de la Broca | | | | |
|---------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|----|-----|------------------------|------------------|--------|-------|------|
| | Diámetro | Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Boquillas [1/32in] | Área de Boquillas [in ²] | Flow Rate [gpm] | Peso [ppm] | PV | YP | Press Drop [psi] | Jet Vel [ft/seg] | JIF | HHP | HSI |
| CUY 31D | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 260 | 8.8 | 1 | 3 | 78 | 99.3 | 117.8 | 11.8 | 0.06 |
| | 12.25 | S322 | DSR419S | 4x16 | 1,024 | 750 | 9.1 | 3 | 2 | 764 | 305.6 | 1080.6 | 334.3 | 2.83 |
| | 12.25 | M323 | RSR519M | 7x13 | 1,183 | 900 | 9.3 | 6 | 5 | 842 | 317.4 | 1376.5 | 442.3 | 3.74 |
| | Side Track | | | | | | | | | | | | | |
| | 12.25 | 117 | TC11 | 3x16 | 768 | 650 | 8.7 | 3 | 3 | 975 | 353.1 | 1034.6 | 369.9 | 3.13 |
| | 12.25 | S322 | DSX204HF | 6x13 | 1,014 | 830 | 10.2 | 7 | 12 | 1,070 | 341.5 | 1498.0 | 517.9 | 4.38 |
| | 8.5 | S424 | DS619S | 1x11;5x12 | 841 | 450 | 10.0 | 12 | 17 | 448 | 223.2 | 520.5 | 117.6 | 2.07 |
| | 8.5 | 417 | TD41AMPC | 3x12;1x15 | 657 | 500 | 10.1 | 14 | 17 | 915 | 317.5 | 830.8 | 267.1 | 4.69 |
| 8.5 | M322 | RSR616M | 6x12 | 864 | 450 | 10.3 | 27 | 24 | 437 | 217.3 | 521.8 | 114.8 | 2.02 | |
| CUY 30D | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 145 | 8.6 | 1 | 1 | 24 | 55.4 | 35.8 | 2.0 | 0.01 |
| | 12.25 | 117 | TC11P | 3x16 | 768 | 400 | 8.7 | 1 | 1 | 369 | 217.3 | 391.8 | 86.2 | 0.73 |
| | 12.25 | M323 | RSRM519M | 7x12 | 1,008 | 900 | 9.2 | 6 | 10 | 1,148 | 372.5 | 1598.1 | 602.7 | 5.10 |
| | 12.25 | M323 | RSRM519M | 7x13 | 1,183 | 850 | 9.8 | 6 | 10 | 792 | 299.8 | 1293.8 | 392.7 | 3.32 |
| | 12.25 | M323 | RSRM519M | 6x14;1x15 | 1,401 | 900 | 10.0 | 7 | 12 | 646 | 268.0 | 1249.8 | 339.1 | 2.87 |
| | 8.5 | M223 | DSX104HG | 5x13 | 845 | 450 | 10.2 | 12 | 17 | 453 | 222.2 | 528.4 | 118.9 | 2.09 |
| | 8.5 | 437 | DJ30FKPR | 3x16 | 768 | 500 | 10.1 | 14 | 17 | 670 | 271.6 | 710.7 | 195.4 | 3.44 |
| | 8.5 | M322 | RSX616M | 6x12 | 864 | 500 | 10.3 | 27 | 24 | 540 | 241.4 | 644.2 | 157.5 | 2.77 |
| CUY 32D | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 300 | 8.8 | 1 | 1 | 104 | 114.6 | 156.8 | 18.2 | 0.09 |
| | 12.25 | 117 | S11GP | 3x16 | 768 | 500 | 8.8 | 1 | 1 | 584 | 271.6 | 619.2 | 170.3 | 1.44 |
| | 12.25 | M323 | DSR519M | 5x14 | 980 | 890 | 9.3 | 6 | 10 | 1,200 | 378.9 | 1624.9 | 623.3 | 5.28 |
| | 12.25 | M323 | DSX104DGJNSU | 2x11;7x12 | 1,250 | 850 | 10.3 | 14 | 17 | 745 | 283.7 | 1286.9 | 369.6 | 6.50 |
| | 8.5 | M422 | RSR519M | 2x11;4x12 | 818 | 450 | 10.0 | 14 | 16 | 474 | 229.5 | 535.1 | 124.3 | 2.19 |
| | 8.5 | 437 | DJ30FKPR | 1x14;2x15 | 646 | 500 | 10.1 | 15 | 16 | 947 | 322.9 | 844.9 | 276.2 | 4.86 |
| | 8.5 | M322 | DSX616M | 6x12 | 864 | 450 | 10.4 | 25 | 20 | 442 | 217.3 | 526.9 | 115.9 | 2.04 |
| | 8.5 | 437 | DJ30FKPR | 3x18 | 972 | 500 | 10.4 | 24 | 18 | 431 | 214.6 | 578.2 | 125.6 | 2.21 |
| CUY 36D | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 300 | 8.6 | 2 | 1 | 102 | 114.6 | 153.2 | 17.8 | 0.09 |
| | 12.25 | 117 | S11GP | 1x15;2x18 | 873 | 700 | 8.8 | 2 | 1 | 885 | 334.5 | 1067.7 | 361.6 | 3.06 |
| | 12.25 | M421 | DSX117GJ | 5x12;3x13 | 1,227 | 900 | 9.6 | 6 | 10 | 808 | 306.0 | 1369.9 | 424.4 | 3.59 |
| | 12.25 | M421 | DSX117GJ | 4x12;2x14;2x15 | 1,418 | 800 | 10.2 | 8 | 16 | 508 | 235.4 | 995.2 | 237.1 | 2.01 |
| | 8.5 | S424 | DSX619S | 2x11;4x12 | 818 | 450 | 10.0 | 11 | 10 | 474 | 229.5 | 535.1 | 124.3 | 2.19 |
| | 8.5 | 437 | R09AP | 1x14;2x15 | 646 | 500 | 10.1 | 13 | 16 | 947 | 322.9 | 844.9 | 276.2 | 4.86 |
| | 8.5 | M422 | MSX616M | 6x12 | 864 | 400 | 10.5 | 27 | 24 | 352 | 193.1 | 420.3 | 82.2 | 1.44 |
| | 16 | 115 | T11 | 3x16;1x18 | 1,092 | 250 | 8.8 | 1 | 1 | 72 | 95.5 | 108.9 | 10.5 | 0.05 |
| CUY 33D | 12.25 | M323 | RSR519M | 5x12;2x13 | 1,058 | 900 | 9.7 | 8 | 11 | 1,098 | 354.9 | 1605.3 | 576.8 | 4.88 |
| | 12.25 | M323 | RSR519M | 4x15;3x16 | 1,668 | 850 | 10.4 | 13 | 15 | 423 | 212.6 | 973.8 | 209.6 | 1.77 |
| | 8.5 | S424 | DSR619S | 3x11;3x12 | 795 | 400 | 10.1 | 20 | 16 | 400 | 209.9 | 439.4 | 93.4 | 1.64 |
| | 8.5 | M322 | RSR616M | 6x12 | 864 | 400 | 10.4 | 29 | 25 | 349 | 193.1 | 416.3 | 81.4 | 1.43 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo VHR

| Pozo | Datos de Broca | | | | | Propiedades del Fluido | | | | Hidráulica de la Broca | | | | |
|---------|----------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|----|--------|------------------------|------------------|----------|--------|------|
| | Diámetro | Tipo de Broca IADC | Tipo de Broca | Boquillas [1/32in] | Área de Boquillas [in ²] | Flow Rate [gpm] | Peso [ppm] | PV | YP | Press Drop [psi] | Jet Vel [ft/seg] | JIF | HHP | HSI |
| VHR 12D | 12.25 | M323 | HCD605Z | 7x12 | 1,008 | 300 | 9.6 | 2 | 3 | 133.08 | 124.17 | 185.28 | 23.29 | 0.20 |
| | 12.25 | M323 | HCD605Z | 7x12 | 1,008 | 950 | 10.0 | 10 | 16 | 1,390.08 | 393.19 | 1,935.41 | 770.47 | 6.52 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x13 | 1,183 | 830 | 10.4 | 9 | 15 | 801.19 | 292.71 | 1,309.16 | 387.97 | 3.28 |
| | 8.5 | S323 | HC605S | 4x12;2x13 | 914 | 500 | 10.1 | 15 | 18 | 473.02 | 228.23 | 597.18 | 137.99 | 2.43 |
| | 8.5 | 447 | MX-S18 | 3x16 | 768 | 500 | 10.3 | 18 | 19 | 683.23 | 271.61 | 724.77 | 199.31 | 3.50 |
| | 8.5 | M323 | HC506Z | 4x12;2x13 | 914 | 550 | 10.4 | 16 | 18 | 589.36 | 251.05 | 744.05 | 189.12 | 3.32 |
| VHR 18D | 8.5 | 437 | HR-S09 | 3x19 | 1,083 | 500 | 10.6 | 21 | 23 | 353.59 | 192.61 | 528.94 | 103.15 | 1.81 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x12 | 1,008 | 250 | 8.5 | 2 | 3 | 81.83 | 103.47 | 113.93 | 11.93 | 0.10 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x12 | 1,008 | 900 | 10.1 | 8 | 11 | 1,260.08 | 372.50 | 1,754.42 | 661.65 | 5.60 |
| | 12.25 | M323 | QD605X | 7x13 | 1,183 | 840 | 10.5 | 10 | 11 | 828.50 | 296.24 | 1,353.79 | 406.03 | 3.44 |
| | 8.5 | S323 | HC605S | 3x16 | 768 | 550 | 10.1 | 19 | 18 | 810.66 | 298.78 | 859.95 | 260.13 | 4.57 |
| | 8.5 | 437 | GX-09H | 3x16 | 768 | 450 | 10.2 | 19 | 18 | 548.05 | 244.45 | 581.37 | 143.89 | 2.53 |
| VHR 19D | 8.5 | M323 | HCM506Z | 6x12 | 864 | 500 | 10.4 | 23 | 18 | 545.08 | 241.44 | 650.50 | 159.01 | 2.80 |
| | 12.25 | M323 | HC605Z | 7x12 | 1,008 | 200 | 8.5 | 2 | 3 | 52.37 | 82.78 | 72.91 | 6.11 | 0.05 |
| | 12.25 | M323 | HC605Z | 7x12 | 1,008 | 900 | 9.6 | 5 | 12 | 1,197.70 | 372.50 | 1,667.56 | 628.90 | 5.32 |
| | 12.25 | M323 | HC605Z | 7x13 | 1,183 | 840 | 10.3 | 13 | 17 | 812.72 | 296.24 | 1,328.00 | 398.30 | 3.37 |
| | 8.5 | S323 | HC605S | 6x12 | 864 | 580 | 9.9 | 10 | 17 | 698.20 | 280.06 | 833.23 | 236.26 | 4.15 |
| | 8.5 | 537 | GX-30DX0 | 3x16 | 768 | 500 | 10.2 | 15 | 16 | 676.60 | 271.61 | 717.74 | 197.37 | 3.47 |
| VHR 24D | 8.5 | M323 | HCM506Z | 6x12 | 864 | 500 | 10.4 | 18 | 17 | 545.08 | 241.44 | 650.50 | 159.01 | 2.80 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 7x13 | 1,183 | 400 | 8.7 | 3 | 16 | 155.66 | 141.07 | 254.36 | 36.33 | 0.31 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 7x13 | 1,183 | 900 | 9.3 | 3 | 7 | 842.39 | 317.40 | 1,376.48 | 442.33 | 3.74 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 7x13 | 1,183 | 900 | 9.8 | 11 | 16 | 887.68 | 317.40 | 1,450.49 | 466.11 | 3.94 |
| | 8.5 | M223 | HC604 | 2x11;4x12 | 818 | 550 | 10.0 | 17 | 23 | 707.51 | 280.51 | 799.39 | 227.03 | 3.99 |
| | 8.5 | 437 | MXL-S11 | 3x18 | 972 | 470 | 10.2 | 20 | 22 | 373.23 | 201.73 | 501.09 | 102.34 | 1.80 |
| VHR 22D | 8.5 | S323 | HC605S | 6x12 | 864 | 600 | 10.4 | 20 | 24 | 784.92 | 289.72 | 936.72 | 274.77 | 4.83 |
| | 8.5 | M323 | HCM506Z | 6x12 | 864 | 500 | 10.4 | 22 | 25 | 545.08 | 241.44 | 650.50 | 159.01 | 2.80 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 8x11 | 968 | 500 | 8.7 | 5 | 16 | 363.26 | 215.50 | 485.70 | 105.97 | 0.90 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 8x12 | 1,152 | 850 | 9.6 | 9 | 13 | 817.93 | 307.83 | 1,301.50 | 405.63 | 3.43 |
| | 12.25 | M323 | HCM605ZX | 8x13 | 1,352 | 920 | 10.1 | 10 | 14 | 731.91 | 283.89 | 1,366.81 | 392.86 | 3.32 |
| | 8.5 | M323 | HC605Z | 5x13 | 845 | 600 | 10.1 | 19 | 23 | 796.94 | 296.24 | 930.15 | 278.97 | 4.90 |
| | 8.5 | 437 | GX-09 | 3x18 | 972 | 600 | 10.2 | 22 | 23 | 608.25 | 257.53 | 816.63 | 212.92 | 3.74 |
| | 8.5 | M323 | HC605Z | 5x14 | 980 | 600 | 10.4 | 21 | 14 | 610.10 | 255.43 | 825.84 | 213.57 | 3.75 |
| VHR 21D | 8.5 | M323 | HCM506Z | 6x13 | 1,014 | 600 | 10.4 | 22 | 24 | 569.87 | 246.86 | 798.15 | 199.49 | 3.51 |
| | 8.5 | 437 | MXL-S11 | 3x20 | 1,200 | 540 | 10.6 | 24 | 21 | 335.93 | 187.74 | 556.80 | 105.83 | 1.86 |
| | 12.25 | M323 | RSX519M | 5x12;2x13 | 1,058 | 250 | 8.5 | 1 | 1 | 74.27 | 98.58 | 108.54 | 10.83 | 0.09 |
| | 12.25 | M323 | RSR519M | 4x15;3x16 | 1,668 | 900 | 9.9 | 6 | 10 | 451.07 | 225.11 | 1,039.23 | 236.85 | 2.00 |
| | 12.25 | S322 | RSX516S | 2x10;5x11 | 805 | 820 | 10.3 | 14 | 17 | 1,672.58 | 424.97 | 1,859.76 | 800.19 | 6.77 |
| | 8.5 | M223 | DSX104HG | 2x11;7x12 | 1,250 | 570 | 9.9 | 14 | 16 | 322.17 | 190.24 | 556.24 | 107.14 | 1.88 |
| | 8.5 | M322 | RSX619M | 3x11;3x12 | 795 | 450 | 10.0 | 15 | 16 | 501.42 | 236.15 | 550.61 | 131.65 | 2.31 |
| | 8.5 | 417 | TD41M | 3x12;1x15 | 657 | 500 | 10.0 | 25 | 20 | 906.41 | 317.50 | 822.55 | 264.41 | 4.65 |
| 8.5 | S424 | DSX70FGPV | 6x12 | 864 | 550 | 10.3 | 24 | 18 | 653.20 | 265.58 | 779.54 | 209.60 | 3.68 | |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 4

TABLA DE SELECCIÓN DEL EQUIPO SUPERFICIAL

ANEXO No 4 Tabla de selección del equipo superficial

| Tipo | Tubo Vertical | | Manguera | | Union Giratoria | | Kelly | |
|------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------------|-----------|------------|-----------|
| | Long. (ft) | I.D. (in) | Long. (ft) | I.D. (in) | Long. (ft) | I.D. (in) | Long. (ft) | I.D. (in) |
| 1 | 40 | 3 | 45 | 2 | 4 | 2 | 40 | 2 1/4 |
| 2 | 40 | 3 1/2 | 55 | 2 1/2 | 5 | 2 1/4 | 40 | 3 1/4 |
| 3 | 45 | 4 | 55 | 3 | 5 | 2 1/4 | 40 | 3 1/4 |
| 4 | 45 | 4 | 55 | 3 | 6 | 3 | 40 | 4 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 5

**TABLA DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL
EQUIPO SUPERFICIAL**

ANEXO No 5 Tabla de pérdidas de presión a través del equipo superficial

| Caudal [GPM] | Tipo de Equipo Superficial | | | |
|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 50 | 2 | 1 | --- | --- |
| 60 | 3 | 1 | --- | --- |
| 70 | 5 | 1 | 1 | --- |
| 80 | 6 | 2 | 1 | 1 |
| 90 | 8 | 3 | 1 | 1 |
| 100 | 10 | 3 | 2 | 1 |
| 110 | 11 | 4 | 2 | 1 |
| 120 | 14 | 5 | 3 | 2 |
| 130 | 16 | 5 | 3 | 2 |
| 140 | 18 | 6 | 4 | 2 |
| 150 | 21 | 7 | 4 | 3 |
| 160 | 24 | 8 | 5 | 3 |
| 170 | 26 | 9 | 5 | 4 |
| 180 | 29 | 10 | 6 | 4 |
| 190 | 33 | 11 | 7 | 4 |
| 200 | 36 | 13 | 8 | 5 |
| 210 | 39 | 14 | 8 | 6 |
| 220 | 43 | 15 | 9 | 6 |
| 230 | 47 | 16 | 10 | 7 |
| 240 | 50 | 18 | 11 | 7 |
| 250 | 55 | 19 | 12 | 8 |
| 260 | 59 | 21 | 13 | 8 |
| 270 | 63 | 22 | 14 | 9 |
| 280 | 67 | 24 | 14 | 10 |
| 290 | 72 | 26 | 15 | 10 |
| 300 | 77 | 27 | 17 | 11 |
| 310 | 82 | 29 | 18 | 12 |
| 320 | 87 | 31 | 19 | 13 |
| 330 | 92 | 33 | 20 | 13 |
| 340 | 97 | 35 | 21 | 14 |
| 350 | 102 | 37 | 22 | 15 |
| 360 | 108 | 39 | 23 | 16 |
| 370 | 114 | 41 | 25 | 17 |
| 380 | 119 | 43 | 26 | 18 |
| 390 | 125 | 45 | 27 | 18 |
| 400 | 131 | 47 | 29 | 19 |
| 410 | 137 | 49 | 30 | 20 |
| 420 | 144 | 51 | 31 | 21 |
| 430 | 150 | 54 | 33 | 22 |
| 440 | 157 | 56 | 34 | 23 |
| 450 | 164 | 59 | 36 | 24 |
| 460 | 170 | 61 | 37 | 25 |
| 470 | 177 | 64 | 39 | 26 |
| 480 | 184 | 66 | 40 | 27 |
| 490 | 192 | 69 | 42 | 28 |
| 500 | 199 | 71 | 43 | 29 |
| 510 | 207 | 74 | 45 | 31 |
| 520 | 214 | 77 | 47 | 32 |
| 530 | 222 | 80 | 48 | 33 |
| 540 | 230 | 82 | 50 | 34 |
| 550 | 238 | 85 | 52 | 35 |
| 560 | 246 | 88 | 54 | 37 |
| 570 | 254 | 91 | 56 | 38 |
| 580 | 262 | 94 | 57 | 39 |
| 590 | 271 | 97 | 59 | 40 |
| 600 | 280 | 100 | 61 | 42 |
| 610 | 288 | 104 | 63 | 43 |
| 620 | 297 | 107 | 65 | 44 |
| 630 | 306 | 110 | 67 | 46 |
| 640 | 315 | 113 | 69 | 47 |
| 650 | 325 | 117 | 71 | 48 |
| 660 | 334 | 120 | 73 | 50 |
| 670 | 343 | 123 | 75 | 51 |
| 680 | 353 | 127 | 77 | 53 |
| 690 | 363 | 130 | 79 | 54 |
| 700 | 373 | 134 | 82 | 56 |
| 710 | 383 | 137 | 84 | 57 |
| 720 | 393 | 141 | 86 | 59 |
| 730 | 403 | 145 | 88 | 60 |
| 740 | 413 | 148 | 91 | 62 |
| 750 | 424 | 152 | 93 | 63 |
| 760 | 434 | 156 | 95 | 65 |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 5 Tabla de pérdidas de presión a través del equipo superficial

| Caudal [GPM] | Tipo de Equipo Superficial | | | |
|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 770 | 445 | 160 | 98 | 66 |
| 780 | 456 | 164 | 100 | 68 |
| 790 | 467 | 168 | 102 | 70 |
| 800 | 478 | 172 | 105 | 71 |
| 810 | 489 | 176 | 107 | 73 |
| 820 | 500 | 180 | 110 | 75 |
| 830 | 512 | 184 | 112 | 76 |
| 840 | 523 | 188 | 115 | 78 |
| 850 | 535 | 192 | 117 | 80 |
| 860 | 547 | 197 | 120 | 82 |
| 870 | 559 | 201 | 123 | 83 |
| 880 | 571 | 205 | 125 | 85 |
| 890 | 583 | 209 | 128 | 87 |
| 900 | 595 | 214 | 131 | 89 |
| 910 | 607 | 218 | 133 | 91 |
| 920 | 620 | 223 | 136 | 93 |
| 930 | 632 | 227 | 139 | 94 |
| 940 | 645 | 232 | 142 | 96 |
| 950 | 658 | 237 | 144 | 98 |
| 960 | 671 | 241 | 147 | 100 |
| 970 | 684 | 246 | 150 | 102 |
| 980 | 697 | 251 | 153 | 104 |
| 990 | 710 | 256 | 156 | 106 |
| 1000 | 724 | 260 | 159 | 108 |
| 1010 | --- | 265 | 162 | 110 |
| 1020 | --- | 270 | 165 | 112 |
| 1030 | --- | 275 | 168 | 114 |
| 1040 | --- | 280 | 171 | 116 |
| 1050 | --- | 285 | 174 | 119 |
| 1060 | --- | 290 | 177 | 121 |
| 1070 | --- | 295 | 180 | 123 |
| 1080 | --- | 300 | 183 | 125 |
| 1090 | --- | 306 | 187 | 127 |
| 1100 | --- | 311 | 190 | 129 |
| 1110 | --- | 316 | 193 | 131 |
| 1120 | --- | 321 | 196 | 134 |
| 1130 | --- | 327 | 200 | 136 |
| 1140 | --- | 332 | 203 | --- |
| 1150 | --- | 338 | 206 | --- |
| 1160 | --- | 343 | 210 | --- |
| 1170 | --- | 349 | 213 | --- |
| 1180 | --- | 354 | 216 | --- |
| 1190 | --- | 360 | 220 | --- |
| 1200 | --- | 366 | 223 | --- |
| 1210 | --- | 371 | 227 | --- |
| 1220 | --- | 377 | 230 | --- |
| 1230 | --- | 383 | 234 | --- |
| 1240 | --- | 389 | 237 | --- |
| 1250 | --- | 394 | 241 | --- |
| 1260 | --- | 400 | 244 | --- |
| 1270 | --- | 406 | 248 | --- |
| 1280 | --- | 412 | 252 | --- |
| 1290 | --- | 418 | 255 | --- |
| 1300 | --- | 424 | 259 | --- |
| 1310 | --- | 430 | 263 | --- |
| 1320 | --- | 437 | 267 | --- |
| 1330 | --- | 443 | 270 | --- |
| 1340 | --- | 449 | 274 | --- |
| 1350 | --- | 455 | 278 | --- |
| 1360 | --- | 461 | 282 | --- |
| 1370 | --- | 468 | 286 | --- |
| 1380 | --- | 474 | 290 | --- |
| 1390 | --- | 481 | 294 | --- |
| 1400 | --- | 487 | 297 | --- |
| 1410 | --- | 494 | 301 | --- |
| 1420 | --- | 500 | 305 | --- |
| 1430 | --- | 507 | 309 | --- |
| 1440 | --- | 513 | 314 | --- |
| 1450 | --- | 520 | 318 | --- |
| 1460 | --- | 527 | 322 | --- |
| 1470 | --- | 533 | 326 | --- |
| 1480 | --- | 540 | 330 | --- |
| 1490 | --- | 547 | 334 | --- |
| 1500 | --- | 554 | 338 | --- |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 6

NOMENCLATURA BROCAS

ANEXO No 6 Nomenclatura brocas para campo Cuyabeno.

| XX | Y | 5 | 16 | M |
|---------------------|------------------|------------|-------------------|----------------|
| Linea de producto | Tipo de cortador | No. aletas | Tamaño cortadores | Material broca |
| DS-Estándar | H-Helios | 2 | 8mm | S-Steel |
| FT- Fuse Tek | FX-DuraForced | 3 | 11mm | M-Matriz |
| MS-Motor Steerable | R-Raptor | 4 | 13mm | |
| RS-Rotary steerable | X-TreX | 5 | 16mm | |
| TF-Titan | | 6 | 19mm | |
| | | 7 | | |
| | | 8 | | |
| | 9 | | | |
| | | 10 | | |

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 6 Nomenclatura brocas para campo VHR.

| XX | 5 | 06 | Y | Z |
|-------------------|-------------------|------------|----------------|------------------------|
| Linea de producto | Tamaño cortadores | No. aletas | Aplicación | Cortadores adicionales |
| Q-Quantec | 2=1/4 in=8mm | 02 | S-Cuerpo acero | X-Una fila |
| QF- Quantec Force | 3=3/8 in=11mm | 03 | H-Roca dura | XX-Doble fila |
| HCZX-Genesis ZX | 4=1/2 in=13mm | 04 | | |
| HCZ-Genesis Z | 5=5/8 in=16mm | 05 | | |
| FC-Triton | 6=3/4=19mm | 06 | | |
| | | 07 | | |
| | | 08 | | |
| | | 09 | | |
| | | 10 | | |

ELABORADO POR: Walter Haro